

Бучинський М.Я.
Горик О.В.
Чернявський А.М.
Яхін С.В.

ОСНОВИ ТВОРЕННЯ МАШИН

Бучинський М.Я.
Горик О.В.
Чернявський А.М.
Яхін С.В.

ОСНОВИ ТВОРЕННЯ МАШИН

Бучинський М.Я., Горик О.В., Чернявський А.М., Яхін С.В.

ОСНОВИ ТВОРЕННЯ МАШИН

За редакцією О.В.Горика, доктора технічних наук, професора,
заслуженого працівника народної освіти України

Підручник

Рекомендовано до друку рішенням вченої ради
Полтавської державної аграрної академії
(протокол №3 від 29 листопада 2016р.)

Харків
Видавництво «НТМТ»
2017

УДК 621.01
ББК 34.41

РЕЦЕНЗЕНТИ:

-
Білецький В.С.,	доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський Політехнічний Інститут»;
Шупіков О.М.,	доктор технічних наук, професор, Інститут проблем машинобудування імені А. М. Підгорного НАН України;
Шваб'юк В.І.,	доктор технічних наук, професор, Львівський національний технічний університет.
-

Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Полтавської державної аграрної академії (протокол №3 від 29 листопада 2016р.)

Бучинський М.Я., Горик О.В., Чернявський А.М., Яхін С.В.

ОСНОВИ ТВОРЕННЯ МАШИН / [За редакцією О.В. Горика, доктора технічних наук, професора, заслуженого працівника народної освіти України]. –

Харків : Вид-во «НТМТ», 2017. — 448 с. : 52 іл.

ISBN 978-617-578-281-1

Підручник спрямований на розвиток творчого мислення та професійної компетентності здобувачів вищої освіти з метою втілення науково-технічних ідей в реальні конструкції машин, впровадження нових технічних рішень у виробництво. В основу висвітлення алгоритму творення машин покладено історичний досвід появи перших об'єктів техніки й сучасні принципи розвитку машинобудування. Звернуто увагу на основи інженерної творчості, правила творення нової техніки та основи проектно-конструкторської діяльності. Розділи, присвячені приводу і механізмам передачі руху та різним конструкційним матеріалам логічно доповнюють цілісність викладення матеріалу. Не залишилися поза увагою й питання технічної експлуатації машин. Наведено приклади творення машин, які висвітлюють практичний хід інженерної думки при творенні нового.

Підручник розрахований на здобувачів вищої освіти механічних спеціальностей вищих навчальних закладів, які вивчають за скороченими програмами курси «Основи творення машин», «Основи створення нової техніки», «Теорія і технологія наукових досліджень», «Філософія техніки», «Теорія технічних систем», «Основи технічної творчості» та інші, що пов'язані із творенням нових машин, а також для практичного використання в інженерній діяльності.

УДК 621.01
ББК 34.41

ISBN 978-617-578-281-1
© Колектив авторів, 2017

Вид-во «НТМТ», Харків, 2017

ПЕРЕДМОВА

Розвиток техніки характеризується створенням нових технічних систем, призначених для полегшення людської праці й забезпечення виконання того чи іншого технологічного процесу.

На сучасному етапі розвитку виробництва й практики проектування виникають складні проблеми, для вирішення яких необхідні не абиякий творчий пошук та дослідницькі навички. Сучасний фахівець повинен володіти не тільки необхідною компетенцією, а й досвідом творчого розв'язання практичних задач, умінням використовувати у своїй роботі все те нове, що з'являється в науці і техніці, а також зобов'язаний постійно вдосконалювати свою кваліфікацію, швидко адаптуватися до умов виробництва. Тому підготовці фахівців технічних спеціальностей, які займаються творенням машин, їх модернізацією та ремонтом слід приділяти особливу увагу, формувати їх високий потенціал, оскільки від цього залежить реалізація новаторських ідей, направлених на підвищення ефективності технічних систем.

У підручнику висвітлено принципи розвитку технічних систем, презентовано актуалізовану теорію, необхідну для ефективної практики творення нових машин та механізмів. Подано як фундаментальні проблеми питання, які виникають перед інженерами при проектуванні й конструюванні нової техніки, так і прикладні задачі, пов'язані з впровадженням, експлуатацією й модернізацією технічних систем.

Подана в підручнику інформація не дає відповіді на конкретні питання, наприклад, як створити певну машину, які технічні розрахунки слід виконати і таке інше. Автори намагалися сконцентрувати технічну інформацію та розкрити підходи до самостійного подолання творчих перепон задля стимулювання здобувачів вищої освіти до інтелектуальної діяльності – активного продуктивного мислення, пошуку та аргументації шляхів власного розв'язання технічних задач, як альтернативи звичному накопиченню знань.

У *першому розділі* наведено деякі історичні факти творення машин. Адже вислів «без минулого немає майбутнього» знають усі, але не всі усвідомлюють його глибину: після минулого настає теперішнє, а потім майбутнє, тобто ми сьогодні використовуємо досвід минулого творимо майбутнє. Здобувачі вищої освіти на основі ознайомлення з певними фактами минулого (історії виникнення

теплових двигунів) та пізнання тенденцій сучасного розвитку окремих галузей машинобудування, поданих у цьому розділі, певним чином підготовлюються до опрацювання наступних розділів, які присвячені вже безпосередньо творенню нової техніки.

У *другому розділі* «Технічні системи» подано поняття про структуру технічних систем як об'єкту творення, запропоновано та обґрунтовано дванадцять принципів їх розвитку, показано кроки та послідовність матеріалізації наукових ідей.

У *третьому розділі* «Інженерна творчість» описано саме творчий процес підходу до пошуку технічного рішення, різні методи інженерного творення систем, виконання інженерного аналізу та оптимізації. Висвітлено методи аналогій у механіці та принципи моделювання, які допомагають інженеру-творцю техніки прийняти правильні нові технічні рішення.

Четвертий розділ присвячено концепції творення нової техніки, а саме засадам та етапам творення, пошуку нових технічних рішень та прикладним дослідженням, які супроводжують цей процес. Подано основні тенденції розвитку машин, висвітлено оцінку показників їх технічного рівня.

Таким чином, другий, третій та четвертий розділи є теоретичною базою для здобувачів вищої освіти і визначають шляхи такої інтелектуальної діяльності, як творення машин. Тому наступний, *п'ятий розділ*, присвячено інтелектуальній власності. Тут показано роль інтелектуальної власності в інноваційній діяльності, принципи управління нею. Висвітлено поняття науково-технічної продукції, описано принципи патентування, а також методи здійснення інформаційного пошуку серед необмеженого поля інформаційних ресурсів.

Шостий розділ «Проектно-конструкторська діяльність» стосується практичної діяльності інженера. Розділ включає загальні відомості, інформацію про види виробів, конструкторських документів та стадій розробки документації. Висвітлено засади конструювання й основи систем автоматизованого проектування в машинобудуванні. Зміст включає й деякі питання ергономіки та складання машин, які слід враховувати при проектуванні.

У *сьомому розділі* «Привод, механізми передавання та перетворення руху» подано інформацію про привод, принципи його розробки, зіставлення різних видів приводів. Адже жодна машина не обходиться без приводу й механізмів передавання та перетворення руху. Окрім цього, в розділі є інформація про передачі та муфти, циклограми машин, історію розвитку та принципи роботи промислових роботів.

Восьмий розділ присвячено матеріалам та їх обробці, оскільки будь яка машина виготовлена з різноманітних матеріалів. У цьому розділі подано структуровану інформацію про широку номенклатуру конструкційних матеріалів, їх властивості та особливості застосування. Окремо акцентовано увагу на технологічності методів обробки матеріалів для досягнення мети творця – створення найбільш ефективної і надійної конструкції нової техніки.

Дев'ятий розділ присвячено питанням управління технічним станом машин, тобто, питанням забезпечення ефективності й надійності, які зумовлені не тільки властивостями, закладеними при створенні виробу, а й рівнем його технічної експлуатації. Тому робота творця машини не закінчується постановкою її на виробництво, а активно продовжується й на наступному етапі життєвого циклу – технічної експлуатації, коли відбувається реалізація потенційних можливостей технічної системи. У розділі акцентовано увагу на питання реалізації й дотриманні рекомендацій і вимог, закладених творцем в супровідній документації, стосовно організації експлуатації машин та управління її технічним станом. Окремо висвітлено використання інформаційних технологій в управлінні виробництвом.

Наостанок подано два приклади творення машин, які наглядно ілюструють весь хід думки та можливі сходинки роботи інженера-творця.

На сторінках підручника неодноразово наголошується на тому, що тісна співпраця інженерів на різних етапах творення машин та на етапах її життєвого циклу є запорукою досягнення високого результату. Здобувачі вищої освіти, як майбутні інженери, повинні знати основи суміжних галузей, етапи творення, основи роботи машин протягом всього її життєвого циклу, що є обов'язковою вимогою до сучасного творця техніки.

Беручи за основу матеріали відомих авторитетних джерел щодо цієї тематики, автори, поряд із класичними, пропонують і своє бачення основ творення машин та сучасних шляхів розвитку цієї галузі знань і творчої діяльності людини.

Інформація, викладена в книзі, на нашу думку, є актуальною, має багатоплановий характер підходу до творення машин. Сподіваємося, що пропонований підручник зацікавить не тільки здобувачів вищої технічної освіти, а також зможе стати в нагоді конструкторам й інженерам, які займаються проектуванням, виробництвом й експлуатацією машин різного призначення та об'єктів нової техніки.

Автори висловлюють щире подяку: професору Білецькому Володимирі Стефановичу (Національний технічний університет

«Харківський Політехнічний Інститут»), професору Шупікову Олександрю Миколаєвичу. (Інститут проблем машинобудування імені А. М. Підгорного НАН України), професору Шваб'юку Василю Івановичу. (Луцький національний технічний університет), професору Романишину Любомиру Івановичу (Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу) та колегам за слушні зауваження й пропозиції щодо змісту та оформлення підручника.

Розуміємо, що під час написання цього підручника не вдалося уникнути певних недоліків, за які автори несуть повну відповідальність. Побажання, поради та повідомлення про описки, помилки та можливі недоречності автори з вдячністю приймуть за електронною адресою goruk007@rambler.ru, buchynskyu@ukr.net, sergii.iakhin@pdaa.edu.ua або особисто.

ВСТУП

Науково-технічний прогрес є основоположним фактором, який забезпечує економічний розвиток суспільства. Творення нових технічних засобів поряд із підвищенням до них вимог, з одного боку, та новими методами вирішення технічних завдань, з іншого боку, викликають необхідність перегляду методів вивчення та створення технічних систем. Систематизація загальних законів розвитку техніки та розвиток сучасних методів вирішення технічних задач при створенні об'єктів нової техніки дозволяє прискорити терміни впровадження нових технічних рішень у виробництво, зробити процес творення нової техніки більш ефективним та підвищити кваліфікацію майбутніх фахівців з інженерної механіки як новаторів, творців та винахідників.

«Техніка», за визначенням енциклопедичних словників, – це сукупність пристроїв та прийомів, що застосовуються людиною у виробничій та невиробничій діяльності для полегшення та прискорення трудових процесів. Техніка – це машини, верстати, прилади, інструменти тощо; це будови та споруди, дороги та канали, засоби транспортування; це невиробниче обладнання та інструменти; комунальне устаткування, холодильники, кухонні та пральні машини, пилососи; засоби зв'язку та транспорту особистого користування і таке інше. До поняття «техніка» належить й технологія, що є сукупністю ефективних прийомів, методів, способів використання обладнання та інших технічних засобів для обробки сировини, матеріалів, виробів та отримання як напівфабрикатів так і готової продукції.

Алоїз Хунінг, професор Дюссельдорфського університету, вважає: «Завдання техніки – перетворювати природу і світ людини відповідно до цілей, поставлених людьми на основі їх потреб і бажань. Лише інколи люди можуть вижити без своєї перетворюючої діяльності. Без техніки люди не змогли б упоратися з оточуючим їх природним середовищем. Отже, техніка – це необхідна частина людського існування протягом всієї історії».

Із розвитком техніки змінюється й сама людина. Особливо значимі зміни відбулися в ХХ столітті. Очевидно, що розвиток техніки з кожним роком йде все швидше. Таке прискорення технічного прогресу несе людині не лише комфорт, але й створює багато проблем, нерідко дуже серйозних.

Тому відповідальність людини при всіх динамічних змінах у техніці та технологіях постійно зростає, адже саме діяльність людини визначає розвиток науки й техніки, вдосконалення виробництва,

суспільного життя в цілому. Машина ніколи не зможе усвідомити, що таке творець, хто він, яку мету намагається досягнути при її творенні. Людина створює машини. А машини, навіть найскладніші, не можуть зрозуміти, чим вони є. Головна відмінність полягає у тому, що не машина керує людиною, а людина – машиною. Це є основною ознакою сучасного техногенного суспільства, яке виникло на індустріальній та постіндустріальній стадії розвитку людства.

Про це влучно написано Марком Твеном у творі «Листи із Землі» при описі суду над машиною:

Суддя: Обвинувачена, доведено, що ви погано складені і кепсько сконструйовані. Що ви можете сказати на своє виправдання?

Машина: Не я себе сконструювала. Не я себе складала.

Суддя: Доведено, що ви рухалися, коли вам не слід було рухатися; що ви звернули, коли вам належало їхати прямо; що ви просувалися через натовпи перехожих зі швидкістю, забороненою законом і небезпечною для громадського спокою; що ви поширюєте сморід і вперті в цьому, хоча вам відомо, що це непристойно і інші машини так не роблять. Що ви можете сказати на своє виправдання?

Машина: Я машина. Я рабськи підкоряюся закону моєї конструкції і не можу його порушити ні за яких умов. Сама по собі я нічого не роблю. Мене приводять у рух зовнішні сили, сама себе в рух я приводити не здатна.

Суддя: Ви вільні. Вашого пояснення досить. Ви – жалюгідне творіння, наділене деякими хорошими і деякими поганими якостями, але хвалити вас за поведінку, що виникає з перших, і засуджувати за поведінку, що впливає з других, було б нечесно і несправедливо. Тобто по відношенню до машини... По відношенню до машини!

Для чого б не була призначена машина, її функціонування направлене на реалізацію поставленої мети: забезпечити певний технологічний процес. Творячи ту чи іншу машину, інженер може не усвідомлювати соціальної вагомості результатів своєї діяльності. Тоді він стає простим ремісником. Щоб цього не трапилось, інженер повинен подолати професійну обмеженість. Його інженерне мислення повинно охоплювати як фізичні процеси, що характеризують властивості, функції та структуру технічних систем, так і фактори анатомічної і фізіологічної особливості людини, сферу функціонування технічної системи, передбачати майбутнє технічного об'єкта, в тому числі й у соціальному аспекті. Адже соціальний і науково-технічний прогрес безпосередньо пов'язаний із діяльністю технічних фахівців. Інженери є творцями нової техніки й соціальних технологій, і саме від їх творчого мислення залежить якість життя на планеті.

1 ІСТОРИЧНІ ФРАГМЕНТИ ТВОРЕННЯ МАШИН

Історія техніки нараховує майже 50 тис. років. Якщо за цей проміжок часу взяти середню тривалість життя одного покоління 30...32 роки, то існуючий рівень техніки був досягнутий приблизно за 1600 поколінь. Іншими словами, людству знадобилося 1600 сходинок, щоб винайти ракету та досягнути Місяця. За перші 1100...1300 сходинок люди освоїли такі традиційні природні матеріали, як дерево, глина та камінь, решта сходинок знадобилося для освоєння міді, бронзи, заліза та інших нових конструкційних матеріалів.

Але цей розвиток немислимий без застосування енергії. Вогонь люди навчилися добувати приблизно 250 тис. років тому, отримувати водяну пару понад 2000 років тому, а використовувати енергію води, що рухається, в першому сторіччі до нашої ери. В історії людства водяні двигуни завжди відігравали особливу роль. Протягом багатьох століть різні водяні механізми були головним джерелом енергії у виробництві. Перші водяні колеса з'явилися в першому столітті до нашої ери, а ось водяна турбіна з високим ККД (до 80%) була винайдена лише в першій половині XIX століття. Її конструкцію створювали та удосконалювали такі відомі творці, як Сегнер, Ейлер, Понселе, Фурнейрон, Пельтон та інші.

Вперше енергетичні машини, що перетворювали внутрішню енергію водяної пари в механічну роботу, тобто парові машини, з'явилися лише у кінці XVII століття. А перший поршневий двигун внутрішнього згорання був створений у 1860 році французьким інженером Етьєном Ленуаром. При цьому за значимістю для людства винайдення двигуна внутрішнього згорання прирівнюється до винайдення колеса, що сталося приблизно 6000 років тому в Месопотамії, що започаткувало освоєння обертового руху.

Першу працюючу парову турбіну, що одразу створювала обертовий рух, створив у 1883 році шведський інженер Густав Лаваль. Відомо, що підгрунтя для побудови токарного верстату на основі обертового руху заготовки заклав ще древньогрецький механік Ктесібій із Александрії приблизно в III столітті до нашої ери. А створений токарно-гвинтовий верстат лише в 1800 році англійцем Генрі Модслі.

Хоча деякі електричні явища були відомі ще древнім грекам, винайдення промислового електродвигуна відбулося лише в кінці XIX століття завдяки роботам таких видатних учених, як Франклін, Кавендиш, Кулон, Гальвані, Герц, Ампер, Сіменс, Тесла та інших. Особливо слід відмітити важливу закономірність, що встановив у 1831 році англійський фізик Майкл Фарадей. Ним було доведено, що електричний струм викликає магнітні явища, а магнітні явища породжують появу електричного струму. Відкриття Фарадея

мало великі наслідки для розвитку техніки та всієї людської цивілізації, так як стало відомо, як механічну енергію перетворювати в електричну, а електричну назад в механічну. Перше з цих явищ лягло в основу роботи електрогенератора, а друге – в роботу електродвигуна.

Наведені приклади свідчать про те, що між першими спробами людей оволодіти певними фізичними явищами (горіння, плавлення, кипіння, випаровування, обертання, рух води, електризація, намагніченість, розщеплювання атомного ядра тощо) та початком промислового використання енергетичних та робочих машин, що побудовані на основі відомих фізичних принципів, проходять десятки, сотні та навіть тисячі років.

Важливим історичним періодом в становленні творення техніки тих часів зайняв період розробки, побудови, впровадження та розвитку теплових двигунів, для перетворення енергії в корисну роботу, який тривав понад тисячоліття. Тому теплові двигуни застосовують на окрему сторінку в історії розвитку техніки.

1.1 ЗАРОДЖЕННЯ ТЕПЛОВИХ ДВИГУНІВ

Тепловим двигуном називається машина, що перетворює теплову енергію в механічну роботу.

Як зазначалося вище, робота машин немислима без застосування енергії. До другої половини XVIII століття люди використовували для потреб виробництва в основному водяні двигуни. Оскільки передавати механічний рух від водяного колеса на великі відстані неможливо, усі фабрики доводилося будувати на берегах річок, що не завжди було зручно. Крім того, для ефективної роботи такого двигуна часто були потрібні дорогі підготовчі роботи. Відповідно першим механічним двигуном, що знайшов широке практичне застосування та дав поштовх розвитку техніки, був тепловий двигун, який перетворював внутрішню енергію водяної пари в механічну роботу.

Ще дві з лишком тисячі років тому, в III столітті до нашої ери, великий грецький математик та механік Архімед побудував гармату (рис. 1.1), що стріляла за допомогою пари. Гармата являла собою глухий з одного торця ствол 1 з отвором 2 на циліндричній поверхні поблизу заглушеної сторони. Відкриту порожнину ствола закривали ядром 3 з пижом 4, а протилежну частину ствола, що заглушена, розжарювали на вогні. Потім у нагріту порожнину ствола через отвір 2 заливали воду. Вода миттєво перетворювалась у пару, яка, розширюючись, з гуркотом та силою виштовхувала ядро 3. Для нас цікаво тут те, що ствол гармати являє собою циліндр, всередині якого, як поршень, ковзає ядро.

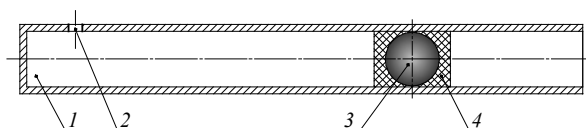


Рисунок 1.1 Гармата Архімеда

1 – ствол, 2 – отвір, 3 – ядро, 4 – ніж

Приблизно трьома століттями пізніше в Олександрії – культурному та багатому місті на африканському узбережжі Середземного моря – жив та працював видатний вчений Герон, котрого історики називають Героном Олександрійським. Декілька його творів дійшло і до нас. У них описано різноманітні машини, механізми та прилади, які були відомі в ті часи. У творах Герона є опис цікавого пристрою, що зараз називають кулею Герона (рис. 1.2). На цьому рисунку схематично зображено характерні розрізи пристрою. Це пустотіла металічна куля 1, що утворює обертову пару з порожнистою горизонтальною віссю 2, закріпленою за допомогою труб-стійок 3 до водяного котла 4. Котел, в якому кип'ячать воду (+ Q), встановлений на каркасі 5. З котла водяна пара по трубках 3 через порожнисту вісь 2 надходить в порожнину кулі 1. Із кулі водяна пара виривається через зігнуті Г-подібно трубки 6. При цьому куля починає обертатися. Таким чином, внутрішня енергія водяної пари перетворюється в механічну енергію обертання кулі. Геронова куля є прообразом реактивних двигунів.

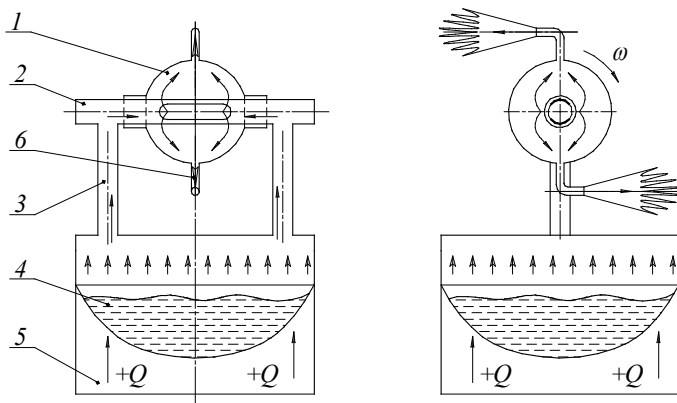


Рисунок 1.2 – Куля Герона

1 – пустотіла куля, 2 – порожниста вісь, 3 – труби-стійки,
4 – котел водяний, 5 – каркас, 6 – Г-подібно зігнуті трубки

Прошло п'ятнадцять століть. Після похмурого періоду середньовіччя прийшов новий розквіт науки й культури. Геніальний італієць Леонардо да Вінчі (1452 — 1519 pp.) замислюється над тим, як можна використати внутрішню енергію водяної пари. У його рукописах є декілька рисунків із зображенням циліндра та поршня. Під поршнем у циліндрі знаходиться вода, а сам циліндр нагрівається. Леонардо да Вінчі вважав, що утворена в результаті нагрівання води пара, розширюючись та збільшуючись в об'ємі, буде шукати вихід, штовхаючи поршень догори. Під час свого руху поршень міг би здійснювати корисну роботу.

Приблизно через сто з лишком років після Леонардо да Вінчі інший італієць, Джовані Бранка, придумав двигун, де використовується енергія водяної пари по-іншому. Двигун виконано у вигляді колеса з лопатками, на які направляється струмінь пари. Вдаряючись по лопатках, водяна пара примушує колесо обертатися. Таким чином, по суті, була відображена парова турбіна.

Ось деякі ідеї, що були відомі людям до того часу, коли вони почали працювати над створенням робочого теплового двигуна, здатного приводити в дію різноманітні механізми та машини. Над винайденням парової машини в XVII — XVIII століття працювало багато винахідників: англійці Томас Севері, Томас Ньюкомен, Джеймс Уатт; француз Дені Папен; росіянин Іван Ползунов та багато інших.

Папен виготовив циліндр 1, в якому догори та донизу вільно переміщувався поршень 2 (рис. 1.3). Він був зв'язаний перекинутим через блоки 3 тросом 4 з вантажем 5, що слідом за поршнем опускався та піднімався. На думку Папена, поршень можна було зв'язати з якою-небудь машиною, наприклад, водяним насосом, який би качав воду. У перших експериментах у нижню відкидну частину циліндра (рис. 1.3, а) насипали порошок, який потім підпалювали. Утворені гази розширялися і штовхали поршень догори. Після досягнення поршнем верхнього положення, циліндр із зовнішнього боку обливали холодною водою. Гази в циліндрі охолоджувались, тиск їх на поршень зменшувався. Поршень під дією власної ваги та зовнішнього атмосферного тиску опускався донизу, піднімаючи при цьому вантаж. Двигун здійснював корисну роботу. Однак для практичної мети він не був придатним. У запропонованому Папеном двигуні можна було помітити основні риси сучасного двигуна внутрішнього згорання. Але було необхідно багато часу та праці великої кількості дослідників, щоб двигун внутрішнього згорання був побудований. Сам Папен далі пішов іншим шляхом — шляхом створення поршневих

парових машин (рис. 1.3, б). У новому двигуні Папен, замість пороху, використовували воду. Воду наливали під поршень, а циліндр знизу підігрівали. Пара, що утворювалася при цьому, піднімала поршень. Потім циліндр охолоджували ($-Q$) водою з зовнішньої сторони і пара, що знаходилася у ньому, конденсувалася, перетворюючись знову у воду. Поршень, як і у випадку з порховим двигуном, під дією власної ваги та атмосферного тиску опускався донизу. Цей двигун працював краще, ніж порховий. Однак для практичного використання від був також малопридатним.

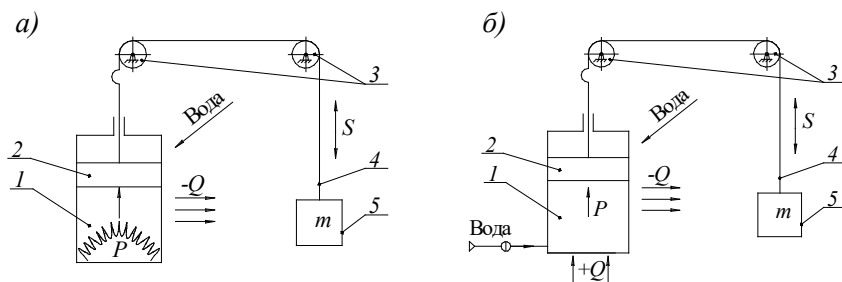


Рисунок 1.3 – Схема машини Папена

а) пороховий двигун; б) паровий двигун

1 – циліндр, 2 – поршень, 3 – блоки, 4 – трос, 5 – вантаж

А якщо в циліндр впускати вже готову водяну пару, отриману, наприклад, в окремому котлі? Тоді було б достатньо впускати в циліндр то пару, то охолоджену воду, і двигун працював би із більшою швидкістю та меншим використанням палива. Дені Папен цього не зробив. Про це здогадався його сучасник, англієць Томас Севері, побудувавши насос для відкачування води з шахти. У його машині пару отримували поза циліндром – у водяному котлі.

Паровий насос Севері (рис. 1.4) складається з водяного котла 1, верхня частина якого трубою 2 з краном 3 з'єднана з порожниною циліндричного резервуара 4. Нижня частина порожнини резервуара 4 за допомогою трубопроводу 11 через трійник 12 з'єднана з вертикальним трубопроводом, що має верхню ділянку 6 та нижню ділянку 9. Нижня ділянка 9 має зворотний клапан 10, що опущений у колодязь 8 із водою. Верхня ділянка 6 має зворотний клапан 5 і закінчується коліном у баку 7. У вихідному положенні кран 3, зворотні клапани 5 і 10 є закритими. Резервуар 4 заповнений водою. Водяний котел 1 розігрітий, а його верхня частина заповнена водяною парою.

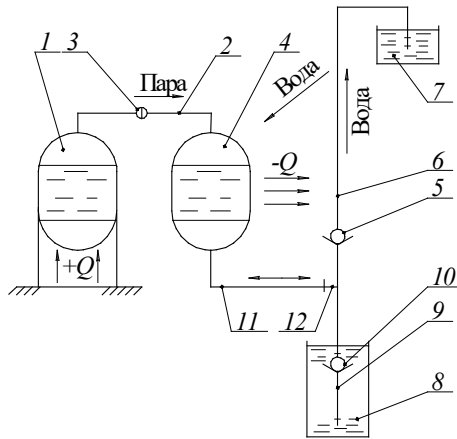


Рисунок 1.4 – Схема насоса Севері

1 – котел водяний, 2 – трубка, 3 – кран, 4 – резервуар, 5 – клапан зворотний,
6 – трубопровід, 7 – бак, 8 – колодязь, 9 – трубопровід, 10 – клапан зворотний,
11 – трубопровід, 12 – трійник

Принцип дії водяного насоса Севері полягає у всмоктуванні та витісненні певного об'єму води за допомогою водяної пари. Призначення насоса полягає в тому, щоб викачувати воду з колодязя 8 та переміщувати її в бак 7, що знаходиться на певній висоті. Насос працює циклічно.

Відкривають кран 3, водяна пара з котла 1 по трубопроводу 2 прямує в порожнину резервуара 4. Під тиском водяної пари вода витісняється з порожнини резервуара 4 по трубопроводу 11 через трійник 12 та зворотний клапан 5 потрапляє в трубопровід 6, із якого виливається в бак 7. При цьому зворотний клапан 10 буде закритим. Після витіснення води з порожнини резервуара 4 під натиском водяної пари в бак 7 кран 3 закривають та починають охолоджувати резервуар 4 із зовнішньої сторони холодною водою. Водяна пара конденсується та створює вакуум в порожнині резервуара 4, під дією якого зворотний клапан 10 відкривається і вода з колодязя 8 по трубопроводах 9 та 11 засмоктується в порожнину резервуара 4. При всмоктуванні води зворотний клапан 5 буде закритим. Після заповнення порожнини резервуара 4 до певного об'єму, всмоктування води припиняється. Насос повертається у вихідне положення й готовий до повторного циклу.

Паровий насос Севері отримав доволі широке застосування в кінці XVII на початку XVIII століття. Більш сучасну машину,

що використовує силу пари для відкачування води з шахт, побудував на початку XVIII століття англійський коваль Ньюкомен. Машина Ньюкомена вже мала основні деталі парової машини: циліндр та поршень. Гідрокінематична схема парового насоса Ньюкомена подана на рисунку 1.5.

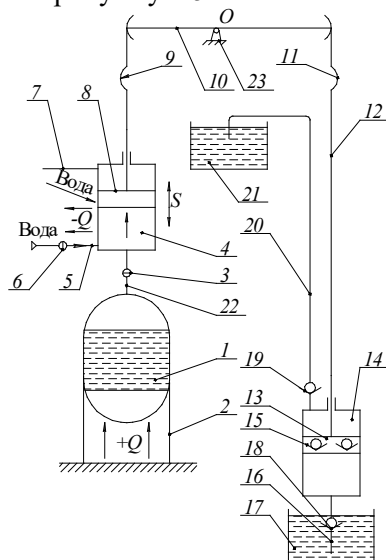


Рисунок 1.5 – Паровий насос Ньюкомена

- 1 – котел водяний, 2 – каркас, 3 – кран, 4 – циліндр,
 5 – трубопровід, 6 – кран, 7 – трубопровід, 8 – поршень,
 9 – ланка гнучка, 10 – балансир, 11 – ланка гнучка, 12 – штанга,
 13 – поршень насоса, 14 – насос водяний, 15 – зворотні клапани поршня,
 16 – трубопровід, 17 – колодязь, 18, 19 – зворотний клапан,
 20 – трубопровід, 21 – бак, 22 – трубопровід пари, 23 – стійка

Насос складається з водяного котла 1, розташованого на каркасі 2, що за допомогою трубопроводу пари 22 з краном 3 з'єднаний із нижньою порожниною циліндра 4. До нижньої порожнини циліндра 4 підведений також трубопровід 5 для подачі холодної води, що перекривається краном 6, а верхня порожнина циліндра трубопроводом 7 з'єднана з атмосферою. Розміщений у циліндрі 4 поршень 8 за допомогою штока й гнучкої ланки 9 з'єднаний із лівим плечем балансира 10, який утворює обертову пару з опорою O стійки 23. Праве плече балансира 10 через гнучку ланку 11 та штангу 12 приєднано до поршня 13 водяного насоса 14. Поршень 13 має зворотні клапани 15. Нижня порожнина водяного насоса забезпечена впускним трубопроводом

16, що опущений у колодязь 17 із водою. На трубопроводі 16 встановлений зворотний клапан 18. Верхня порожнина насоса 14 через зворотний клапан 19 трубопроводом 20 приєднана до бака 21.

Вихідне положення. Поршень 8 в циліндрі 4 парового двигуна знаходиться в крайньому нижньому положенні, а поршень 13 водяного насоса 14 – в крайньому верхньому положенні. Крани 3 та 6 закриті. Працює насос таким чином: відкривають кран 3 та по трубопроводу 22 подають водяну пару з котла 1 в нижню порожнину циліндра 4. Поршень 8 під дією тиску водяної пари рухається вгору, витискаючи через трубопровід 7 повітря з верхньої порожнини в атмосферу. При цьому ліве плече балансира 10, повертаючись на осі *O*, повертається вгору, а його праве плече повертається вниз під дією сили тяжіння поршня 13 водяного насоса 14 та колони насосних штанг 12.

Вода з нижньої порожнини циліндра водяного насоса 14 перетікає через зворотні клапани 15 на поршні 13 у верхню порожнину циліндра. При досягненні поршнем 8 крайнього верхнього положення поршень 13 водяного насоса займає крайнє нижнє положення. Після цього за допомогою крана 3 перекривають доступ пари в циліндр 4 та відкривають кран 6. Холодна вода по трубопроводу 5 поступає в нижню порожнину циліндра 4. Під дією води пара конденсується, а перепад тиску, що виникає на поршні за рахунок атмосферного тиску над та розрідженням під поршнем, створює силу, що переміщує поршень 8 вниз, який за допомогою гнучкої ланки 9 тягне ліве плече балансира 10 донизу. При цьому балансир повертається проти годинникової стрілки навколо шарнірної опори *O*, а праве його плече піднімається та за допомогою гнучкої ланки 11 тягне вгору колону насосних штанг 12 та поршень 13 водяного насоса 14. Вода з верхньої порожнини циліндра 14 витісняється поршнем 13 через зворотний клапан 19 по трубопроводу 20 у бак 21.

Одночасно з цим відбувається всмоктування води з колодязя 17 через трубопровід 16 та зворотний клапан 18 в нижню порожнину циліндра насоса 14. Після досягнення поршнем 8 крайнього нижнього положення поршень 13 займає крайнє верхнє положення. При цьому краном 6 перекривають трубопровід 5, тобто доступ холодної води в нижню порожнину циліндра 4. Робочий цикл закінчений, і його можна повторювати за викладеною вище послідовністю.

Як бачимо, Ньюкомен дуже вміло використовував багато з того, що було придумано до нього. Він узяв циліндр із поршнем Папена, але пару для піднімання поршня створював в окремому котлі, як це робив Севері у своєму паровому насосі. Він також використовував відомий з давніх-давен важіль – балансир. Машина Ньюкомена, як і побудовані до нього машини, працювала перервно: між двома

робочими ходами поршня була пауза. Його машина була висотою з п'ятиповерховий будинок. Від своїх попередників вона успадкувала величезну ненажерливість: їй ледь-ледь встигали підвозити паливо. Адже перепад тиску залежить від температури, при якій пара конденсується, а сила, що рівна добутку перепаду тиску на площу поршня, збільшується при збільшенні діаметра циліндра. Тому потужність машини зростала пропорційно величині циліндра. Обслуговували машину не менш, ніж дві людини одночасно. Один кочегар безперервно підкидував паливо в ненажерливу пащу топки, а другий керував кранами, що впускають поперемінно гарячу пару та холодну воду в циліндр двигуна. Це була важка та виснажлива робота. Проте така машина дозволяла відкачувати воду з більшої глибини, ніж це робилося за допомогою коней, які приводили в рух насос до цього.

Парові машини почали свій хід по землі. Здавалося, що до створення універсального парового двигуна залишалося зовсім мало часу. Необхідно було добитися того, щоб парова машина могла приводити в рух не лише механізми перервної дії, наприклад, поршневі водяні насоси, але й такі машини, як металорізальні верстати, у яких шпindel обертається безперервно. Однак знадобилося ще 50 років, щоб універсальний двигун був нарешті побудований. Зробив це на Барнаульському плавильному заводі син солдата, російський винахідник Іван Ползунов.

На відміну від парових насосів Севері та Ньюкомена, про які Ползунов знав і недоліки яких чітко розумів, його проект у 1763 році був проектом універсальної парової машини безперервної дії (рис. 1.6). Машина призначалась для повітродувних цехів, що нагнітають повітря в плавильні печі. Головною її особливістю було те, що робочий вал повітродувки коливався безперервно без холостих пауз. Це досягалось тим, що Ползунов у своїй машині передбачив не один паровий циліндр, як це було в машині Ньюкомена, а два, що працювали паралельно. Доки в одному циліндрі поршень під дією пари піднімався догори, в іншому циліндрі пара конденсувалась і поршень йшов донизу. Обидва поршні були пов'язані з одним загальним робочим валом, якого вони обертали то в один, то в інший бік. У цій машині робочий хід здійснювався не за рахунок перепаду тиску, як в машині Ньюкомена, а за рахунок роботи розширення пари в циліндрах.

Навесні 1766 року Іван Ползунов побудував машину. Висотою вона була як триповерховий будинок, а її деякі деталі важили 2,5 тонни. Працювала вона так: вода нагрівалась у котлі, склепаному із металевих листів і, перетворюючись у пару, поперемінно поступала у два триметрові циліндри. Поршні циліндрів тиснули на коромисла, що з'єднувались із міхами, які роздували полум'я в

рудоплавильних печах, а також із водяними насосами-розподільниками. Також була передбачена автоматична подача в котел підігрітої води. Наявність двох поршнів забезпечила неперервність роботи.

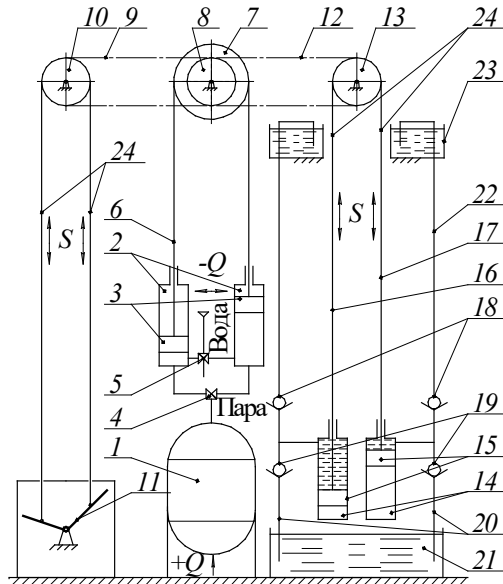


Рисунок 1.6 – Схема парової машини Ползунова

- 1 – котел паровий; 2 – циліндр; 3 – поршень; 4 – кран паровий розподільчий;
 5 – кран водяний розподільчий; 6 – тяга; 7, 8, 10, 13 – шків;
 9, 12 – гнучкі зв'язки; 11 – повітродувні міхи; 14 – циліндр водяного насоса-розподільника, 15 – поршень; 16, 17 – тяги; 18, 19 – зворотні клапани;
 20 – всмоктувальна труба; 21 – колодязь; 22 – напірна труба; 23 – бак; 24 – тяга

Машину запустили в роботу в серпні того ж року уже після смерті Ползунова. Вона пропрацювала 43 доби, вдень і вночі забезпечувала плавку металу в печах. За цей час вона не тільки окупила витрати на її будівництво – 7200 рублів, а й дала понад цього прибуток 12 тисяч рублів. Але передчасна смерть винахідника негативно вплинула на долю його дитяти: виникли течі з циліндрів, які його учні не змогли усунути. Машина простояла на заводі ще 14 років, після чого її демонтували.

Творцем універсального парового двигуна, що був дуже поширеним, став англійський механік Джеймс Уатт. Працюючи над удосконаленням машини Ньюкомена, він у 1784 р. побудував двигун (рис. 1.7), що був придатним для будь-якої машини.

Паровий двигун Уатта складався з водяного парогенератора – парового котла 1, що опирається завдяки каркасу 2 на фундамент.

Парогенератор 1 через розподільчий паровий кран 3 та трубопроводи пари 4 і 16 з'єднаний з порожнинами циліндра 5, в якому розміщений поршень 6. З іншого боку до порожнин циліндра 5 приєднані трубопроводи води 7 та 17 з розподільчим водяним краном 8 для подачі холодної води з трубопроводу 18.

Шток 15 поршня 6 ковзає направляючими 21, та завдяки тязі 10, що утворює обертові пари А і В з ланками 9 та 15, приєднаний до лівого плеча коромисла 9 шарнірно-важільного кривошипно-коромислового механізму. Коромисло 9 має шарнірну опору О на стійці 14. До правого плеча коромисла 9, завдяки обертовій парі С, приєднаний шатун 11, що, у свою чергу, утворює обертову пару Д з кривошипом 12. Кривошип жорстко прикріплений до валу 20 і утворює обертову пару зі стійкою 19. На вал 20 жорстко посаджений маховик 13.

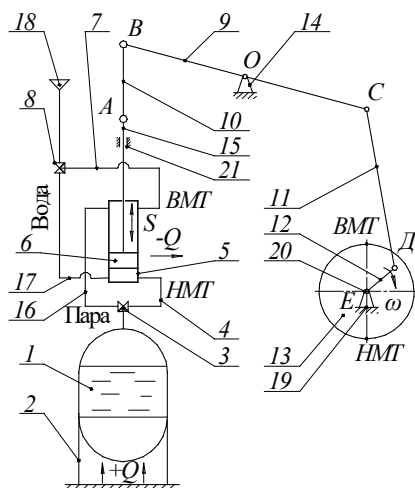


Рисунок 1.7 – Парова машина Уатта

- 1 – котел паровий (парогенератор);
 2 – каркас; 3 – кран розподільчий паровий; 4 – труба парова;
 5 – циліндр силовий; 6 – поршень; 7- трубопровід води;
 8 – кран розподільчий водяний; 9 – коромисло; 10 – тяга; 11 – шатун;
 12 – кривошип; 13 – маховик; 14 – стійка; 15 – шток; 16 – труба парова;
 17 – трубопровід води; 18 – трубопровід подачі холодної води;
 19 – стійка; 20 – вал; 21 – направляюча

Двигун Уатта складається, як свідчить опис його будови, з трьох самостійних блоків:

- водяного котла-парогенератора, що виробляє водяну пару і є джерелом внутрішньої енергії;
- силового циліндра, що перетворює внутрішню енергію водяної пари у зворотно-поступальний рух поршня;
- шарнірно-важільного кривошипно-коромислового механізму, що перетворює зворотно-поступальний рух поршня силового циліндра в обертовий рух своєї вихідної ланки – кривошипу.

Прийmemo за вихідне наступне положення парової машини. Поршень 6 силового циліндра 5 займає крайнє нижнє положення, тобто знаходиться в нижній мертвій точці (*НМТ*). Верхня порожнина циліндра 5 заповнена водяною парою. Розподільчий кран 3 перекриває доступ водяної пари з парового котла (парогенератора) 1 в порожнину циліндра 5. Розподільчий водяний кран 8 перекриває доступ холодної води з трубопроводу 18 в порожнину циліндра 5. Кривошип 12 шарнірно-важільного механізму 9-11-12 займає крайнє верхнє положення *ВМТ* (верхня мертва точка). Паровий котел 1, встановлений на рамі 2, є розігрітим.

Працює паровий двигун Уатта таким чином. Повертають триходовий кран 8 та подають з трубопроводу 18 і далі по трубопроводу 7 дозовану масу холодної води у верхню порожнину циліндру 5. Водяна пара, що знаходиться там, конденсується. Потім відкривають розподільчий кран 3. Пара по трубопроводу 4 із парогенератора 1 спрямовується в нижню порожнину силового циліндра 5. Поршень 6 під дією тиску водяної пари рухається догори, витісняючи при цьому конденсат з верхньої порожнини циліндра 5 назад по трубопроводу 7 в магістраль 18. Після досягнення поршнем 6 положення *ВМТ* в циліндрі 5 розподільчими кранами 3 та 8 перекривають доступ водяної пари та холодної води в порожнину циліндра 5. Потім повертають триходовий кран 8 та подають з трубопроводу 18 через трубопровід 17 дозовану порцію холодної води в нижню порожнину силового циліндра 5. Водяна пара, що знаходиться там, конденсується.

Далі відкривають кран 3 та подають з парогенератора 1 по трубопроводу 16 водяну пару в верхню порожнину силового циліндра 5. Під дією тиску пари поршень 6 починає рухатися донизу, витісняючи при цьому конденсат з нижньої порожнини циліндра 5 через трубопровід 17 назад в трубопровід 18. Після досягнення поршнем 6 положення *НМТ* в циліндрі 5 кранами 3 та 8 перекривають доступ водяної пари та холодної води в порожнину силового циліндра 5. Цикл закінчений.

Як бачимо, зворотно-поступальний рух поршня 6 в силовому циліндрі 5 через шток 15 та за допомогою тяги 10 перетворюється в

коливальний рух коромисла 9 навколо шарнірної опори О. Потім шарнірно-важільний механізм 9-11-12 перетворює коливальний рух вхідної ланки 9 в обертовий рух вихідної ланки – кривошипу 12. Кривошип обертає вихідний вал 20 на опорі Е, послідовно займаючи верхнє та нижнє мертві положення. Необхідну рівномірність обертового руху та плавний перехід через мертві положення кривошипа 12 забезпечує маховик 13, що жорстко посаджений на вал 20.

У паровому двигуні Уатта застосований шарнірно-важільний кривошипно-коромисловий механізм для перетворення зворотно-поступального руху поршня силового циліндра в обертовий рух кривошипа, що закріплений на вихідному валу. Від цього валу обертовий рух може передаватися будь-якій технологічній машині.

Уатт запропонував подвійне пересування поршня в силовому циліндрі під дією водяної пари. Він перетворив обидва ходи поршня – вгору-вниз – в робочі ходи. Водяна пара в порожнині силового циліндра направляється поперемінно за допомогою спеціального паророзподільчого механізму, що надалі був вдосконалений та названий «золотником». Подвійний робочий хід зробив машину більш технологічною.

Потім Уатт прийшов до висновку, що не обов'язково весь час (доки поршень силового циліндра рухається) подавати в порожнину водяну пару. Достатньо подати у визначену порожнину мірну порцію водяної пари, що при розширенні буде рухати поршень. Це зробило двигун економічним: менше знадобилося водяної пари, а значить, і менша витрата палива.

Усі введені Уаттом удосконалень перетворили парову машину в універсальний паровий двигун, народження якого так довго очікували.

Свій внесок в удосконалення парових машин та збільшення їх енергоефективності вніс Артур Вульф, який в 1804 році запатентував парову машину подвійного розширення – компаундну парову машину високого тиску Вульфа. У ній, з метою підвищення коефіцієнту корисної дії, запропоновано двоступінчасту схему. Спочатку високотемпературна пара з котла надходила в циліндр високого тиску; після нього відпрацьована пара з циліндру надходила в циліндр низького тиску. Це зменшувало перепад температури в кожному циліндрі, що знижувало температурні втрати. Оскільки пара низького тиску мала більший об'єм, то циліндри низького тиску були більшого діаметру. Такі компаундні машини набули поширення на виробництві і транспорті й стали практично єдиним видом, що застосовувались в пароплавах.

Однак ступені досконалості теплових машин, створених до кінця XVIII століття, а відповідно і застосування, були далеко не однаковими.

Якщо парові машини після вдосконалень, внесених Уаттом, мали велике поширення на заводах і фабриках, теплоходах та тепловозах, то парові турбіни, реактивні двигуни були всього лише іграшками, а двигуни внутрішнього згорання існували в проектах, часто не здійснених.

У середині XIX століття парові машини, як дуже неекономічні ($ККД$ приблизно 15...20%), почали витіснятися іншими двигунами: паровими та газовими турбінами, двигунами внутрішнього згорання.

Перші практично придатні парові турбіни з'явилися наприкінці XIX століття завдяки зусиллям шведського інженера Густафа де Лавалля та багатьох інших винахідників. Ці парові турбіни працювали за тим же принципом, що і двигун Джованні Бранка. Коефіцієнт корисної дії газових турбін, де працює не водяна пара, а попередньо розжарений газ, досягав 40%. Паралельно з турбінами були створені й реальні зразки двигунів внутрішнього згорання, $ККД$ яких досягав 45%. А в 40-х роках XX століття почався розвиток реактивних двигунів.

Такий бурхливий розвиток теплових двигунів вимагав обґрунтування і сприяв розвитку наукових досліджень теплових явищ.

1.2 ЗАРОДЖЕННЯ ТЕОРЕТИЧНИХ ОСНОВ ТЕПЛОВИХ ЯВИЩ

Все більше застосування парових двигунів у техніці призвело до необхідності теоретичного пояснення фізичного принципу дії парової машини. Перш за все потрібно було в'ясувати: від чого залежить робота, що виробляється паровою машиною. Відомо, що вона залежить від конструкції парової машини та від способу паророзподілення тепла, від температури пари, що створюється водяним котлом тощо.

Для того, щоб урахувати вплив таких та інших факторів, необхідно було розробити теорію теплового двигуна і, перш за все, теорію процесу перетворення теплоти в роботу.

Природно, що багато вчених того часу працювали в цьому напрямку. Одним із перших був французький інженер Саді Карно (1796 — 1832 рр.). У 1824 році він опублікував свою працю «Роздуми про рушійну силу вогню», де було встановлено важливі положення, що стосувались питання перетворення теплоти в механічну роботу.

Перш за все Карно встановив, що безперервний процес перетворення теплоти Q в роботу A буде відбуватися при наявності двох об'єктів:

- нагрівника (температура T_1);
- холодильника (температура T_2).

Окрім нагрівника та холодильника, повинно бути ще й робоче тіло, що здатне змінювати свій стан та здійснювати при цьому роботу. Робоче тіло повинно забирати теплоту у нагрівника та, виконуючи роботу, повертатися в початковий стан.

Отже, будь-який тепловий двигун (рис. 1.8) складається з трьох складових частин: робочого тіла, нагрівника, холодильника.

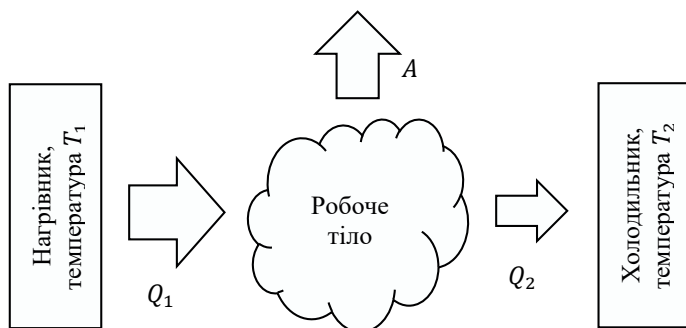


Рисунок 1.8 – Схема теплового двигуна

Робочим тілом у теплового двигуна є будь-який газ або водяна пара, за рахунок розширення якого здійснюється робота A . Робоче тіло отримує деяку кількість теплоти Q_1 від нагрівника, в якому підтримується висока температура T_1 , наприклад за рахунок згорання палива. При виконанні роботи A робоче тіло передає деяку кількість теплоти Q_2 холодильнику, температура якого T_2 завжди нижча від температури нагрівача T_1 .

Для ідеального теплового двигуна (рис 1.9), що працює без втрат, баланс енергії за цикл, що розглядається, який ми назвемо прямим, можна отримати на основі першого закону термодинаміки, тобто

$$Q_1 = Q_2 + A, \text{ або } A = Q_1 - Q_2 = Q. \quad (1.1)$$

Звідси впливає теорема Карно. Термічний коефіцієнт корисної дії теплового двигуна $\eta_{\text{тд}}$ не залежить від природи робочого тіла і є лише функцією температур нагрівника T_1 та холодильника T_2 .

$$\eta_{\text{тд}} = Q/Q_1 = (Q_1 - Q_2)/Q_1 = (T_1 - T_2)/T_1. \quad (1.2)$$

Отже, навіть в ідеального теплового двигуна $ККД$ є принципово нижчим від одиниці.

Цикл, що розглядався, можна провести у зворотному порядку (рис. 1.10). Оскільки у зворотному циклі стиснення робочого тіла здійснюється при більш високій температурі T_1 , ніж розширення T_2 , то робота стиснення A_1 є більшою від роботи розширення A_2 . Отже, за цикл здійснюється позитивна робота

$$A = A_1 - A_2 = Q_1 - Q_2 = Q, \text{ або } Q_1 = Q_2 + Q. \quad (1.3)$$

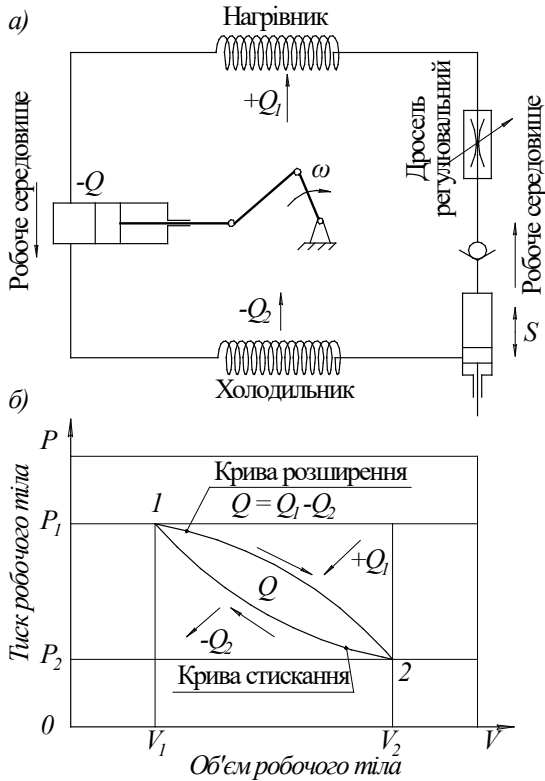


Рисунок 1.9 – Двигун тепловий

а – схема гідрокінематична; б – графіки розширення та стискання робочого тіла

Отже, в результаті такого циклу деяка кількість теплоти переходить від холодного тіла з температурою T_2 до тіла з більш високою температурою T_1 . Тому зворотний ідеальний цикл служить для інших теплових машин: холодильного агрегату та теплового насоса.

Ефективність холодильного агрегату оцінюється за холодильним коефіцієнтом

$$k_x = Q_2 / (Q_1 - Q_2). \quad (1.4)$$

Ефективність теплового насоса визначається коефіцієнтом перекачування тепла

$$k_{\text{тн}} = Q_1 / (Q_1 - Q_2). \quad (1.5)$$

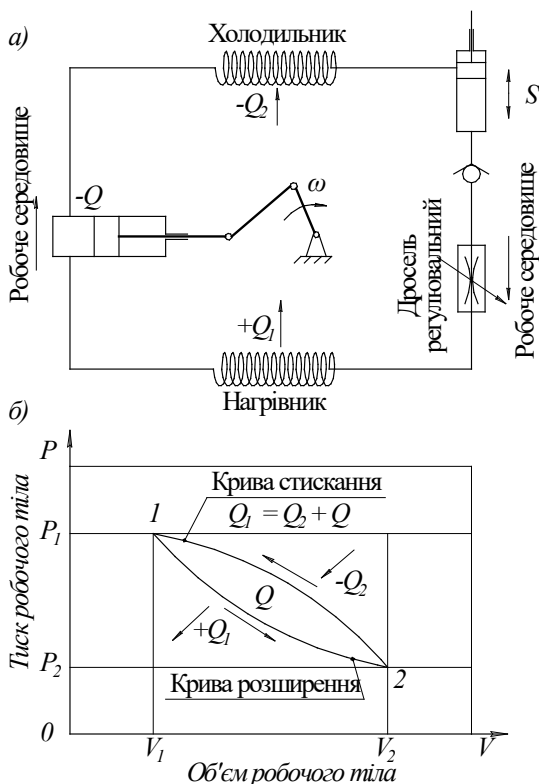


Рисунок 1.10 – Агрегат холодильний

а – схема гідрокінематична; б – графіки стисання та розширення робочого тіла

1.3 ТЕНДЕНЦІЇ СУЧАСНОГО МАШИНОБУДУВАННЯ

верстатобудування; сільськогосподарське машинобудування;
хімічне машинобудування; електротехнічне машинобудування;
зварювальне обладнання

Сьогодні машинобудування – основна галузь світової промисловості й є основою економіки будь-якої країни, грає вирішальну роль у створенні й оновленні її матеріально-технічної бази. Машинобудуванню належить виключно важлива роль у прискоренні науково-технічного прогресу, який спрямований на впровадження прогресивних форм організації виробництва, безперервний розвиток і вдосконалення засобів виробництва, створення принципово нових машин та технологічних процесів.

Машинобудування займає перше місце серед галузей промисловості по вартості світової продукції – близько 38%, йому належить

провідне місце в міжнародних економічних зв'язках. І є найбільш трудомістким.

Провідна тенденція розвитку машинобудування – ріст обсягу виробництва при поглибленні спеціалізації й кооперації різних машинобудівних галузей, і як результат – розширення сфер застосування та покращення споживчих властивостей продукції.

Машинобудування багатогалузеве. Налічує більше 300 різних галузей виробництва, які постійно оновлюються. Новітні галузі переходять у нові, а потім стають загальноприйнятими. Їх замінюють інші новітні галузі.

У світі попит на продукцію машинобудування постійно зростає. Асортимент машинобудівної продукції (декілька мільйонів найменувань) найрізноманітніший серед усіх галузей промисловості. Але продукція галузі різна за масовістю виробництва. Наприклад, бурових установок випускається декілька сотень на рік, літаків – близько 1000 на рік, металорізучих верстатів понад 1 мільйон одиниць, автомобілів близько 50 мільйонів, а електронної техніки до 200 мільйонів одиниць на рік.

Умовами розвитку машинобудування є забезпечення його висококваліфікованими працівниками робочих та інженерно-технічних спеціальностей, наявність певного рівня виробничої культури, центрів наукових досліджень та розробок. Досягнення науково-технічного прогресу передусім впроваджується у машинобудуванні. Близькість до сировинної бази необхідна тільки для деяких галузей важкого машинобудування – металургія, гірничошахтне і гірничорудне.

Галузевий склад машинобудування умовно поділяється на три групи.

1. Загальне машинобудування, яке включає в себе верстатобудування, важке машинобудування (наприклад, металургійне, гірниче, хімічне, нафтогазове), сільськогосподарське, атомне і таке інше. Воно вирізняється такими властивостями, як різноманітність серійності продукції (від одиничних екземплярів до масового випуску) та тісним зв'язком з іншими галузями промисловості й сільського господарства.

2. Транспортне машинобудування:

- автомобілебудування – провідна галузь транспортного машинобудування, яка вирізняється високою концентрацією виробництва; 90% автомобілів випускають 10 великих компаній, сконцентрованих у США, Японії, Південній Кореї та Євросоюзі. У галузі зайнято понад 60 мільйонів працівників;
- авіаракетно-космічна промисловість використовує складні

технології, які висувають особливі вимоги до науково-виробничої бази та кваліфікації працівників. Її продукція випускається тільки великими компаніями. Склад галузі різноманітний. Це виробництво літаків, гелікоптерів, авіадвигунів, авіоніки (електронного та навігаційного обладнання літальних апаратів), ракетобудування, виробництво космічних апаратів. Найбільш потужна авіаракетно-космічна промисловість у США;

- суднобудування, яке відрізняється високою матеріаломісткістю та трудоемністю виробництва. Тут відстежується тенденція зменшення частки пасажирського транспорту та зростання спеціального (танкери, контейнеровози, науково-дослідні судна тощо). Центр суднобудування перемістився з Європи та США в Азію (Японія, Корея, Китай). Зокрема, Японія та Південна Корея випускає понад 50% світового виробництва морських суден;
- залізничне обладнання – найстаріша галузь транспортного машинобудування, яка випускає локомотиви, вантажні та пасажирські вагони, цистерни і таке інше. Центр цього напрямку машинобудування поступово зміщується в Азію.

3. Електротехнічне машинобудування – швидко прогресуюча галузь. Висока концентрація виробництва в США, Японії (ці дві країни випускають близько 90% мікросхем), Корея, Тайвань, Китай. Електроніка розвивається в напрямі мініатюризації виробів, підвищення їх надійності й довговічності.

Провідна роль машинобудівної продукції належить авіаракетно-космічній промисловості, мікроелектроніці, робототехніці, атомно-енергетичній техніці, верстатобудуванню, важкому машинобудуванню, автомобілебудуванню. Більшість із цих галузей розвинуті в Україні та має високий потенціал подальшого нарощування виробництва та конкурентоздатності на світовому ринку машинобудівної продукції.

Зокрема в Україні розвинене автомобілебудування, електротехнічне та сільськогосподарське машинобудування, тракторобудування, хімічне та нафтохімічне машинобудування, будівельно-дорожнє та комунальне, приладобудування, машинобудування для легкої та харчової промисловості, виробництво побутових машин, верстатобудування та інструментальне машинобудування, авіабудування, гірничошахтне та гірничорудне машинобудування, залізничне машинобудування. Загалом машинобудівний комплекс України має значний інноваційний потенціал для формування нових і посилення існуючих

конкурентних переваг як на зовнішньому, так і на внутрішньому ринках, що дає впевненість у майбутньому машинобудівної галузі нашої країни.

Коротко зупинимося на тенденціях та специфіці окремих галузей машинобудування.

Верстатобудування

Верстатобудування своєю продукцією забезпечує машинобудівні заводи засобами виробництва. Тому особливу увагу слід приділяти системному підходу до розробки єдиного стратегічного плану його розвитку для задоволення сучасних потреб машинобудування. Розробка окремих, навіть дуже досконалих верстатів не дасть очікуваного економічного ефекту, тому що в сучасних умовах нові верстати уже на етапі розробки повинні ставати частиною гнучких виробничих ділянок, а виробничі ділянки – частиною виробничих систем, які включають у себе робітників та допоміжне обладнання. Тому модернізація чи розробка нових верстатів повинна передбачати створення сучасного цифрового інтегрованого технологічного середовища на всіх виробництвах комплектуючих та готової продукції, бо вони знаходяться в єдиній системі.

Тendenції розвитку верстатобудування добре прослідковуються з інформації, наведеної в таблиці 1.1. За останні 60 років технологічний уклад машинобудівних виробництв пройшов шлях розвитку і модернізації від універсальних верстатів, спеціальних, з числовим програмним керуванням (ЧПК) до обробних центрів та технологічних комплексів. При цьому використовуються системи спеціального та унікального інструменту, а керування від людини передано інтегрованим інформаційним системам і таке інше. Тобто крок за кроком людство наближається до безлюдного виробництва, а обладнання стає більш спеціалізованим з високими показниками якості.

Таблиця 1.1 – Етапи розвитку верстатобудування

Період	Показник	Характеристика
До 60-х років XX століття	Технологічна генерація	Технологічний уклад на базі універсальних верстатів
	Верстат	Простий
	Пристосування	Найпростіші
	Інструмент	Універсальний та спеціалізований
	Вимірювання	Зовнішнє
	Керування	Людина
60...80-і роки XX століття	Технологічна генерація	Технологічний уклад на базі універсальних і спеціальних верстатів, в т.ч. з ЧПК
	Верстат	Складний
	Пристосування	Прості та складні механічні
	Інструмент	Універсальний та спеціалізований
	Вимірювання	Зовнішнє
	Керування	Людина та кінематика
80...90-і роки XX століття	Технологічна генерація	Технологічний уклад на базі верстатів з ЧПК і обробних центрів
	Верстат	Спрощений, підвищеної точності
	Пристосування	Спеціальні механічні
	Інструмент	Спеціалізований та спеціальний
	Вимірювання	Зовнішнє та активний контроль
	Керування	Людина та обчислювальна техніка
Початок XXI століття	Технологічна генерація	Технологічний уклад на базі обробних центрів
	Верстат	Простий, високої точності
	Пристосування	Спеціальні та оснащені ЧПК
	Інструмент	Спеціальний та унікальний
	Вимірювання	Внутрішнє та активний контроль
	Керування	Інформаційна система
Нині	Технологічна генерація	Технологічний уклад на базі технологічних комплексів та обробних центрів
	Верстат	Простий, високої точності й особливої надійності
	Пристосування	Спеціальні модельні верстати, оснащені ЧПК
	Інструмент	Спеціальні та унікальні інструментальні системи
	Вимірювання	Внутрішнє аналітичне та активний контроль
	Керування	Інтегрована інформаційна система

Сільськогосподарське машинобудування

Сільськогосподарські машини різноманітні та численні, їх конструкції навіть кожного типу мають значні відмінності, що обумовлені як різними умовами роботи, так і різними технологічними процесами. Розробляючи сільськогосподарську машину, враховують велику кількість випадкових факторів, що виникають при виконанні технологічних процесів, а це вимагає прийняття багатьох припущень, що не дозволяє часом при теоретичних дослідженнях отримати достовірний результат. Тому дотепер актуальне висловлювання академіка Горячкіна В.П. стосовно створення теорії сільськогосподарських машин: легше зробити робочий орган, ніж теорію для його опису.

Система машин для комплексної механізації складна, вона спрямована на отримання максимального господарського ефекту. Вона складається з наборів і комплексів сільськогосподарських машин і знарядь, за допомогою яких досягається комплексна механізація всіх технологічних процесів виробництва в стислі агротехнічні терміни в різних ґрунтово-кліматичних районах з найменшою витратою ресурсів та мінімальним екологічним впливом.

Структура системи машин для комплексної механізації сільського господарства подається чотирма частинами: рослинництво, тваринництво, меліорація, лісове господарство. Нижче укрупнено наведено орієнтовний склад сільськогосподарських машин для рослинництва та тваринництва, згрупованих за призначенням, який показує все їх різноманіття.

Машини для рослинництва:

- ґрунтообробні (лемішні та спеціальні плуги, дискові борони, ротаційні ґрунтообробні для боротьби з вітровою та водяною ерозією ґрунту, комбіновані ґрунтообробні машини та агрегати, ґрунтообробні для зрошувального землеробства, машини для покращення луків та пасовищ, машини та інструмент для передпосівної обробки ґрунту та доглядом за сільськогосподарськими культурами, машини та інструмент для прибирання каміння тощо);
- для сівби, садіння, внесення добрив, захисту рослин та зрошення (сівалки, посадочні машини, для внесення добрив, для захисту рослин, машини та обладнання для зрошування);
- для збирання та переробки зерна (зернозбиральні комбайни, валкові жатки, машини та обладнання для очистки та сепарації зерна і насіння, зерносушилки тощо);
- для збирання картоплі, овочів та луб'яних культур (картоплезбиральні машини, машини для збирання овочевих культур, для

збирання буряка та кормових коренеплодів, для збирання луб'яних культур);

- для збирання фруктів;
- для обробки та механізації сховищ картоплі, овочів та фруктів;
- вантажно-розвантажувальні;
- для закритого ґрунту (гідропонні машини, машини для вирощування і посадки розсади, грибів, системи автоматичного регулювання параметрів технологічних процесів вирощування рослин);
- машини для обробки та збору чаю;
- сінозбиральні;
- машини та обладнання для пресування, гранулювання та брикетування кормів;
- кормозбиральні комбайни;
- обладнання для активної вентиляції і сушки трав'яних кормів.

Машини для тваринництва:

- для приготування кормів (коренебульбомийки, подрібнювачі кормів, очищувачі кормової сировини, дозатори сипучих кормів, змішувачі);
- для роздавання кормів;
- для видалення та обробки гною;
- обладнання механізації доїння й обробки молока (доїльні установки, пристрої заміру кількості молока, теплообмінні апарати для охолодження та нагріву молока, холодильне обладнання, відділювачі вершків та молокоочищувачі, насоси, резервуари для охолодження та зберігання молока);
- машини та обладнання для механізації птахофабрик.

Склалася практика, що не сукупність вимог технології сільськогосподарського виробництва в різних ґрунтово-кліматичних та організаційних умов лягають в основу створення типорозмірного ряду машин і комплексів. А створені на основі усереднених агротехнічних вимог машини визначають технологію виробництва сільськогосподарської продукції. Тому творці сільськогосподарських машин повинні володіти технологіями, в яких представлені вимоги до проведення кожної технологічної операції в різних ґрунтово-кліматичних умовах, визначено діапазон допустимих відхилень основних характеристик від оптимальних.

Використання таких технологій дозволить машинобудівникам визначитись з необхідною кількістю базових машин, їх модифікацією на основі блочно-модульної побудови і реалізувати задачу переходу від спеціалізованих машин до комбінованих.

Сучасна галузь сільськогосподарського машинобудування одна з тих, що найбільш часто вдосконалюється з урахуванням тенденцій

технічного прогресу для забезпечення потреб аграрного виробництва. Основні технології з використанням сільськогосподарських машин за останні сто років не зазнали серйозних змін. Сучасні комбайни – зрізують, обмолочують і розділяють продукцію за тією ж схемою, що і багато років тому. Хоча сучасні сівалки та машини для прибирання врожаю працюють набагато швидше своїх попередників. Однак, разом із оптимізацією конструкції машин вдосконалюються й системи керування ними, оскільки розвиваються системи комп'ютеризованого контролю, *GPS* навігації, тощо. Програмне керування може зробити сучасні сільськогосподарські машини повністю самокерованими й більш точними, а також знизити витрату паливо-мастильних матеріалів, насіння і добрив.

Розвиток сільськогосподарської техніки нерозривно пов'язаний з такими науками, як агрономія та екологія, оскільки з кожним роком зростає необхідність не тільки ефективного і інтенсивного використання земель, а й вкрай дбайливого ставлення до природних ресурсів. Щорічно проводяться наукові і практичні дослідження, впроваджуються у виробництво нові зразки сільськогосподарських машин, розробляються системи автоматичного керування технікою, впроваджуються прогресивні і ресурсозберігаючі технології.

Провідні виробники сільгосптехніки активно займаються розробками, що дозволяють тракторам і комбайнам без участі людини визначати вологість ґрунту, необхідність внесення добрив, глибину оранки, можливість збору врожаю. Незабаром саме *GPS* стане основою роботи тракторів і комбайнів. У найбільш сміливих розробках на техніку вже монтуються датчики, що допомагають орієнтуватися по супутникам. При досягненні краю поля або іншої перешкоди трактор автоматично розвертається і продовжує свою роботу. Серед найбільш передових пропозицій – всі комбайни працюють на полі під керуванням однієї людини, яка перевіряє їх роботу, приймає рішення в разі поломки або іншої позаштатної ситуації.

Таким чином, основні напрями розвитку сільськогосподарської техніки на сучасному етапі можна коротко охарактеризувати так:

- підвищення пропускної спроможності, продуктивності і надійності агрегатів;
- зниження матеріаломісткості та енергоємності конструкцій;
- поліпшення умов праці і безпеки роботи;
- відповідність процесів, які виконуються агрегатами, природоохоронним вимогам;

- застосування комп'ютерних технологій в управлінні сільськогосподарською технікою, ремонті та регулюванні;
- використання системи глобальної навігації (GPS) для підвищення показників якості та ефективності технологій.

Хімічне машинобудування

Сучасне хімічне виробництво відрізняється багатостадійністю, енергоємністю, матеріаломісткістю, протяжністю трубопровідних та кабельних комунікацій, широким використанням мікропроцесорної техніки та засобів автоматизації. Продукція хімічного машинобудування відрізняється величезною кількістю виробів, які випускаються як серійно, так й індивідуально. Продукція хімічного машинобудування також широко використовується в харчовій, гірничій, металургійній, паперовій, мікробіологічній, медичній та інших галузях промисловості.

Машини та апарати хімічних та нафтохімічних виробництв являють собою комплекс механізмів та конструкцій, призначених для здійснення технологічних процесів відповідно до заданої програми з метою отримання споживчого продукту. Ці технологічні процеси носять, як правило, складний характер: окрім механічного впливу, водночас відбувається сукупність процесів хімічної технології (хімічне перетворення, міжфазовий масообмін, нагрів або охолодження, зміна агрегатного стану речовини тощо).

Особливістю машин та апаратів є те, що технологічні процеси можуть проходити як при дуже низьких (близьких до абсолютного нуля), так і високих (до 5000°C) температурах, при високих тисках (сотні мегапаскаль) і глибокому вакуумі, в агресивних та вибухонебезпечних середовищах, з різними агрегатними станами речовин водночас.

Все це обумовлює прийняття конструкторами специфічних конструктивних рішень, використання майже всього переліку конструкційних матеріалів.

Можна виділити такі основні тенденції в удосконаленні і розвитку машин та апаратів хімічних виробництв:

- збільшення одиничної потужності установок, машин та апаратів і покращення їх техніко-економічних показників;
- використання робочих процесів, що базуються на нових фізичних явищах;
- розширення діапазону робочих параметрів (тиску, температури, швидкостей потоку, руху робочих органів і таке інше);
- ширше використання при виготовленні нестандартних виробів стандартних деталей та вузлів, стандартизованих рядів параметрів хімічного виробництва, раціональних методів його

- виготовлення, монтажу та ремонту;
- створення гнучких виробничих систем з широким використанням мікропроцесорної техніки та засобів автоматизації;
- застосування нових конструкційних матеріалів і методів зміцнення традиційних;
- підвищення екологічності обладнання;
- створення обладнання для ресурсозберігаючих безвідходних технологій;
- покращення дизайну обладнання.

Електротехнічне машинобудування

Електроніка є основою сучасного науково-технічного прогресу, має найвищі темпи розвитку наукових досліджень, розробки технологій, розширення номенклатури та обсягів випуску продукції. Необхідність масового виробництва вимагає створення високопродуктивного, надійного автоматизованого спеціального технологічного обладнання, яке працює на різних принципах у широкому діапазоні фізичних параметрів: від гелієвих температур до 1600...1700K, при тиску від 10^{-9} до 10^9 Па , з переміщеннями на відстань декількох атомних шарів до десятків метрів.

Високі темпи розвитку технологій обумовлюють, за досвідом зарубіжних компаній, зміну спеціального технологічного обладнання кожні 4 — 5 років. А технологічний процес характеризується специфічними вимогами до обладнання, матеріалів, виконання операцій обробки і контролю. Тому виділимо певні загальні вимоги до спеціального технологічного обладнання електротехнічного машинобудування, яких необхідно дотримуватися при проектуванні, експлуатації, налагодженні та ремонті.

1. Прецизійність (точність). Обладнання повинно забезпечувати можливість точного встановлення режимів обробки і підтримки їх протягом всього технологічного циклу. Обладнання, як правило, повинно бути автоматизоване або роботизоване, мати мікропроцесорне керування роботою основних виконавчих блоків.

2. Відтворюваність режимів. Обладнання повинно забезпечувати тотожність обробки від виробу до виробу, від партії виробів – до партії протягом обумовленого терміну без додаткового регулювання чи налагодження; автоматичне підтримання режимів обробки за заданою програмою.

3. Інертність. Конструкційні матеріали технологічного машинобудівного обладнання повинні бути інертними до середовища обробки та матеріалу майбутнього виробу з метою мінімізації руйнування робочих вузлів та зниження рівня забруднення виробу в процесі обробки.

При необхідності потрібно передбачати змінні блоки, захисні пристосування, операції проміжного очищення від продуктів обробки.

4. Низьке дефектоутворення. Конструкційні рішення повинні забезпечувати мінімізацію генерації забруднюючих частин і їх попадання на поверхню виробу. Конструкція повинна передбачати можливість вбудовування в чисті виробничі приміщення. Для цього обладнання повинно бути модульного виконання, що забезпечує доступ до завантажувальних і розвантажувальних вузлів та керування технологічним процесом із чистої кімнати, а основний корпус та допоміжні вузли повинні бути розміщені поза нею.

5. Мінімізація перехідних процесів. Кінематичні вузли і блоки, системи керування й енергетичного впливу на виріб повинні забезпечувати максимальне скорочення тривалості перехідних процесів, які дають неконтрольований вплив на виріб у загальному технологічному циклі обробки та погіршують відтворюваність параметрів виробу.

6. Екологічність. Обладнання повинно мати вбудовані блоки чи вузли нейтралізації шкідливих реагентів чи продукції реакції, що забезпечує захист навколишнього середовища, робочого персоналу й виробу від шкідливого впливу речовин технологічного процесу. Системи нейтралізації повинні забезпечувати роздільну обробку шкідливих речовин із метою підвищення ефективності утилізації відходів. У випадку роботи з дорогоцінними металами повинна бути автономна система (практично 100%) збору і виділення дорогоцінного металу з відходів виробництва. Конструкція повинна передбачати захист від несанкціонованого доступу в зони реакції, мати ефективну систему захисту персоналу від впливу шкідливих факторів (випари шкідливих речовин в тому числі ядовитих, газів реакції; магнітні, електричні чи *НВЧ* поля і радіація; лазерне випромінювання, акустичний шум та вібрація тощо).

7. Надійність. Обладнання повинно забезпечувати тривалі середні напрацювання на відмову, низьке значення часу відновлення та коефіцієнт технічного використання не менше 0,85...0,95.

8. Модульність конструкції. Вона повинна передбачати можливість (у випадку виходу з ладу) швидкої й оперативної заміни блоків та вузлів без додаткового налагодження та юстирування, дотримання вимог «чистих кімнат».

9. Спряженість. Окрім одиниці обладнання, що входять у єдиний технологічний комплекс для випуску певної групи продукції, повинні бути спряженими в системі технологічного транспорту, приєднувальних розмірів, систем автоматичного керування (інтерфейсу).

10. Ергономічність. Обладнання повинно забезпечувати низьку втомлюваність оператора, систему захисту від шкідливих факторів. Монотонні операції повинні бути автоматизовані, системи

мікроскопічного контролю по можливості повинні бути замінені системами технічного зору та автоматичного контролю і таке інше.

Зварювальне обладнання

Неперервний розвиток зварювального виробництва, розробка нових методів зварювання вимагають створення все більш нових зразків обладнання, удосконалення існуючого для забезпечення високої ефективності його застосування. Це стосується як широко розповсюджених процесів зварювання (електродугового зварювання та наплавлення, контактного зварювання, газового зварювання, наплавлення і різки), так і обладнання для променевих технологічних процесів, що нині активно розвиваються (електронно-променеве зварювання, лазерне зварювання, наплавлення та різка).

Вимоги до зварювального обладнання: якість та продуктивність технологічного процесу, надійність роботи, раціональні витрати матеріалів і електроенергії, ергономічні показники та мінімальні ціни обладнання.

Забезпечення високої якості зварних з'єднань вимагає:

- точного складання й фіксації зварюваних з'єднань у робочій зоні з врахуванням особливостей заготовки (відхилень від номінальних розмірів та форми, задири, окалина, бризки металу тощо) і зварних деформацій;
- надійного захисту зварювальної ванни від впливу атмосфери шляхом подачі в зону зварювання захисного газу, флюсу, використання самозахисних зварювальних дротів, вакуумних камер і таке інше;
- забезпечення заданого положення й орієнтації джерела нагрівання відносно зварюваного з'єднання з компенсацією випадкових відхилень лінії з'єднання від розрахункового положення;
- підтримування заданих значень параметрів процесу зварювання або їх зміна за заданим законом із врахуванням випадкових відхилень параметрів з'єднання, підготовленого до зварювання, від номінальних значень;
- застосування прогресивних зварювальних технологій (форсовані режими, багатодугове та багатоелектродне зварювання, стрічкові електроди і тому подібне).

Висока продуктивність досягається застосуванням механізації, автоматизації і роботизації зварювального виробництва. Автоматизація й роботизація є факторами суттєвого покращення якості й стабільності характеристик з'єднань.

Висока надійність зварювального обладнання, яка є одним з найважливіших факторів забезпечення якості зварного шва і продуктивності, досягається:

- забезпеченням стабільної роботи обладнання в умовах (залежно від методу зварювання) високої температури поблизу зони зварювання і зварного шва, потужного нестационарного магнітного поля, інтенсивного світлового випромінювання, розбризкування розплавленого металу, інтенсивного виділення пилю чи аерозолів;
- підвищенням ресурсу роботи швидкозмінних елементів;
- використанням сучасних засобів контролю стану і діагностики та усуненням несправностей за рахунок швидкозмінних деталей, блоків та пристроїв;
- використанням складових з високими показниками надійності, уніфікацією та агрегуванням.

Забезпечення раціональної витрати матеріалів на виготовлення обладнання, електроенергії, що споживається при зварюванні, та зварювальних матеріалів досягається:

- раціональною побудовою типорозмірних рядів і вибором оптимального компонування зварювального обладнання;
- підвищенням ККД джерел енергії (наприклад, використання інверторних або транзисторних джерел енергії для дугового зварювання), зменшення їх масогабаритних показників;
- зниженням ефекту розбризкування металу шляхом вибору оптимального способу зварювання;
- вибором оптимальних складу і витрати захисних газів, флюсу та ефективних способів їх подачі.

Високі ергономічні показники обладнання є важливим фактором підвищення якості зварних з'єднань, продуктивності й надійності процесу зварювання, що досягаються шляхом:

- покращення санітарних умов роботи (відсмоктування аерозолів та пилю, охолодження пальників, захист персоналу від світлового випромінювання) та безпеки праці;
- механізації, автоматизації та роботизації зварювальних та допоміжних робіт;
- врахування інженерної психології при розробці засобів керування та контролю зварювального обладнання;
- застосування раціонального компонування та ергономічних форм обладнання;
- раціональної організації робочих місць.

Мінімізація вартості обладнання та вартості його технічного обслуговування досягається:

- мінімізацією матеріалоемкості та трудомісткості виготовлення зварювального обладнання;
- вибором або створенням обладнання з оптимальним набором функцій для виконання певних завдань (без надлишковості);
- максимальним використанням серійного обладнання та агрегуванням і уніфікацією зварювального обладнання.

1.4 ЗАКЛЮЧЕННЯ

Безсистемна нерегламентована методика творення машин, яка опирається на випадкове осяяння, до минулого століття була гальмом розвитку техніки, тобто технічного прогресу загалом. Прозріння відбулося лише в першій половині XX століття, коли люди зрозуміли, що процес творення нових машин можна прискорити та зробити його більш ефективним, змінюючи підходи до цього творчого процесу.

Стало зрозумілим, що успішне творення нової техніки потребує дотримання послідовності виконання визначених етапів, тобто алгоритму дій, та системного підходу до побудови нових машин.

Творення нової техніки, як свідчить сучасна історія розвитку машин, відбувається у такій послідовності:

- зародження технічної ідеї на основі аналізу потреби та попиту;
- постановка задачі та її формулювання;
- інформаційний пошук можливих рішень;
- проведення прикладних досліджень (в процесі проведення прикладних досліджень визначається оптимальний фізичний принцип, на основі якого буде побудована майбутня машина);
- розробка технологічного процесу (результатом виконання даного етапу є нова послідовність операцій та технологічні режими здійснення вибраного фізичного принципу);
- техніко-економічне обґрунтування доцільності;
- складання технічного завдання на розробку та постановку на виробництво;
- проектування та конструювання (на цьому етапі розробляється технічна та робоча конструкторська документація);
- встановлення можливості утилізації машини, у разі вичерпання її ресурсу;
- виготовлення дослідного зразка;
- проведення випробувань дослідного зразка;
- підготовка виробництва для випуску нової техніки та складання сертифікату відповідності.

Природно, що викладений, апробований та прийнятий в цілому світі порядок творення нових машин не є догмою. У кожному конкретному випадку він може бути змінений залежно від обставин та

специфічних вимог. Однак в більшості випадків перераховані етапи є беззаперечним правилом, якого слід дотримуватися, щоб досягнути позитивного результату.

Системний підхід до творення нової техніки полягає в тому, що на всіх етапах розробки майбутня машина (об'єкт) розглядається як технічна система, що наділена певними властивостями. Такий підхід вимагає:

- постійного уточнення поставленої задачі;
- аналізу задачі з точки зору сучасності та суспільної потреби;
- перевірки правомірності поставленої задачі на основі загальних законів природи;
- перевірки здійсненності задачі на сучасному рівні техніки та виробництва;
- розробки загальної схеми рішення відповідно до даних умов;
- вибору основного, тобто визначального, експерименту;
- аналізу отриманих результатів експерименту та знаходження їх діалектичного взаємозв'язку з поставленою задачею;
- всебічного та комплексного розгляду поставленої задачі з врахуванням різних факторів: моральних, економічних, екологічних, технічних, технологічних, психологічних тощо.

Використана література

1. *Корець М. Машинознавство. К.: Знання України, 2001, 448 с.*
2. *Машиностроение. Энциклопедия / ред. совет: К.В. Фролов (пред.) и др. М38 М.:Машиностроение., 1994-2013. В 40 томах.*
3. *Теплотехніка: підручник для студ. ВНЗ / за ред.. Б.Х.Дроганова. К.:ІНКОС, 2005. 504 с.*
4. *Україномовний розділ відкритої багатомовної мережевої енциклопедії Вікіпедія. Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/>*

2 ТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ

Система загалом (від дав.-гр. *συστήμα*) – сполучення, ціле, поєднання. Тобто, *система* – це впорядкована сукупність, що утворена, за визначеними правилами, скінченною множиною елементів (рис. 2.1). Взаємозв'язок елементів системи називають *структурою*.

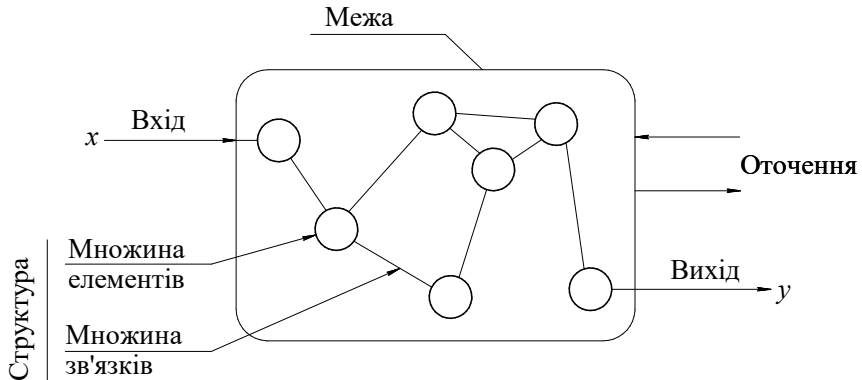


Рисунок 2.1 – Узагальнена модель системи

Елемент та система є відносними поняттями з точки зору системного підходу, основним принципом якого є концепція цілісного стану, неможливості звести складне до простого, цілого до частини, наявність у цілому об'єкті таких властивостей та якостей, що не притаманні його складовим частинам.

Система в техніці це сукупність взаємопов'язаних технічних об'єктів, що поєднані єдиною метою та загальним алгоритмом функціонування.

Системний підхід потребує розглядати систему як складову одиницю надсистеми, а окремі складові частини системи, у свою чергу, як підсистеми.

У рамках розділу основну увагу приділимо технічним системам як основі творення нових машин.

2.1 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА СТРУКТУРА

Технічна система – це сукупність функціонально взаємопов'язаних технічних об'єктів, що утворюють машину чи агрегат, котрі поєднані однією метою та загальним алгоритмом функціонування в самостійну структуру, що має властивості, які не зводяться до властивостей елементів, і призначену для виконання певного технологічного процесу та здатну працювати в автоматичному режимі за відповідною програмою.

Термін «технічна система» визначений як узагальнюючий для широкого кола пристроїв, уже існуючих та тих, що будуть створюватися людиною з метою задоволення різноманітних суспільних потреб.

Техніка (від грец. *techne* – мистецтво, майстерність, вміння) – сукупність засобів людської діяльності, створених для здійснення процесів виробництва та обслуговування виробничих і невиробничих потреб суспільства.

Технічний об'єкт (від лат. *objectus* – предмет) – матеріальний результат інженерної діяльності. Тобто це будь-який виріб (деталь, вузол, підсистема, функціональна одиниця або система), який можна розглядати відокремлено.

Залежно від призначення та принципу дії, технічні системи, як і технічні об'єкти, поділяють на машини, апарати та прилади. У випадках, коли складно визначити приналежність системи, використовують поняття «пристрій» або «комплекс».

Поділ технічних об'єктів (систем) на машини, апарати та прилади і на технічні системи носить умовний характер. Системою може бути певна сукупність самодостатніх машин, апаратів чи приладів і в той же час система чи декілька систем можуть бути складовими тих же машин, апаратів чи приладів.

Технічна система характеризується:

- призначенням (виконанням корисних функцій);
- структурою і принципом роботи (сукупністю елементів, їх взаємним розташуванням та зв'язками між ними, що задають стійкість і відтвореність функції);
- новою якістю (сукупністю властивостей елементів, що входять до її складу).

До складу технічної системи входять механізми, модулі, машини та інші технічні об'єкти різного призначення.

Механізм – це сукупність окремих ланок (механічних, гідравлічних, пневматичних, електромагнітних тощо), що завдяки кінематичним парам утворюють кінематичний ланцюг, який здатний перетворювати визначені рухи вхідної ланки в необхідні рухи вихідної ланки. Механізм складає основу більшості машин.

Модуль – уніфікований вузол, що конструктивно оформлений, як самостійний виріб для виконання визначеної функції в різноманітних технічних системах.

Машина – це технічний об'єкт (технічна система), який складається з функціональних елементів (деталей, вузлів, пристроїв, механізмів), що використовує енергію для виконання певних функцій (механічних рухів, перетворення матерії (речовини, поля) або перетворення інформації).

Сучасні машини умовно поділяють на енергетичні, робочі та інформаційні.

Енергетичні машини перетворюють один вид енергії в інший.

До них відносяться:

- двигуни – машини, які перетворюють різні види енергії в механічну роботу (електродвигуни, парові та гідротурбіни, двигуни внутрішнього згорання тощо);
- генератори – машини які перетворюють механічну енергію в інший вид енергії (електрогенератори, компресори, насоси).

Робочі машини перетворюють речовину або поле та змінюють положення предмета виробництва. Робочі машини поділяються на технологічні та транспортні.

Інформаційні машини служать для перетворення, обробки і передачі інформації. Основу таких машин складають електронно-обчислювальні машини.

Об'єкти технічної системи, що утворюють підсистеми, поділяються на чотири основні групи.

I-ша група. Джерела механічного руху, тобто двигуни. Ними є енергетичні машини, що перетворюють різні види енергії в механічну роботу. Тому ці технічні об'єкти утворюють енергетичні системи або підсистеми.

II-га група. Виконавчі пристрої, що виконують визначену технологічним процесом роботу шляхом механічних рухів. Сюди входять машини, модулі та механізми головного та допоміжного рухів, а також механізми переміщення. Вони утворюють виконавчі системи або підсистеми

III-тя група. Керуючі пристрої, якими є регулятори, пульти керування, обчислювальні машини, командоапарати, мікропроцесори тощо. Завдяки каналам зв'язку вони з'єднані між собою та з інформаційними датчиками, що розміщені на механізмах, і утворюють систему або підсистему керування. За типом задач, що пов'язані з керуванням технічними об'єктами, системи керування поділяються на підсистеми: автоматичного контролю, автоматичного регулювання, слідкуючі, автоматичного захисту, автоматичного керування, адаптивного керування, обробки даних тощо.

IV-та група. Допоміжні пристрої, які забезпечують працездатність технічних об'єктів технічних систем, а, саме, модулі та механізми, що утворюють допоміжні системи або підсистеми, наприклад: технічної діагностики, змащування, охолодження, нагрівання, регулювання технологічних режимів, виміру фізичних параметрів, контролю якості, безпечності, сигналізації, освітлення, утилізації відходів, технологічного оснащення, подачі заготовок, видалення

готових виробів, перетворювачі тощо.

Для побудови технічних систем служать прогресивні технологічні процеси, що є науково-технічною продукцією прикладних досліджень різноманітних способів дії (фізико-технічних ефектів) на предмет виробництва. Технологічний процес є частиною виробничого процесу та безпосередньо пов'язаний з послідовною зміною стану предмета виробництва.

Технологічний процес – це послідовна сукупність різного роду дій (механічних, фізичних, хімічних тощо) на матеріальний об'єкт виробництва, в результаті виконання яких змінюються лінійні геометричні розміри, форма, зовнішній вигляд, агрегатний стан або фізико-хімічні властивості продукту, що переробляється.

Алгоритм функціонування технічної системи являє точний опис способу рішення поставленого технічного завдання (виконання технологічного процесу). Здійснюється алгоритм функціонування шляхом формування керуючим пристроєм набору спеціальних команд, що каналами зв'язку у визначеному порядку направляються виконавчим та допоміжним пристроям. Після отримання таких команд вихідні ланки відповідних пристроїв, що оснащені робочими органами, здійснюють рухи по заданій траєкторії та з необхідною швидкістю, виконуючи при цьому встановлену технологічним процесом корисну роботу.

Викладене дозволяє формувати розгорнуте визначення технологічної системи.

Технологічною системою називається сукупність функціонально взаємопов'язаних технічних об'єктів, до складу яких входять: джерела механічного руху та виконавчі пристрої, що виконують необхідні технологічні операції, здійснюючи корисну роботу; допоміжні пристрої, що забезпечують працездатність технічних об'єктів; керуючі пристрої, які утворюють систему керування. Ця сукупність поєднана єдиною метою в самостійну структуру, що має загальний алгоритм функціонування для здійснення за відповідною програмою певного технологічного процесу.

Технологічні системи поділяють на дві групи:

- апаратні технологічні системи (АТС);
- машинні технологічні системи (МТС.)

В апаратних технологічних системах робоча зона є закритою та ізольованою від зовнішнього середовища. Технологічний процес в АТС протікає в закритій порожнині корпусу апарата, де створюються спеціальні умови: тиск або розрідження, висока чи низька температура, дія хімічно активного середовища на продукт, що переробляється тощо.

У машинних технологічних системах робоча зона є відкритою та неізольованою від зовнішнього середовища, тобто атмосфери, а сам технологічний процес протікає в умовах довкілля.

Технічні об'єкти технічної системи можуть існувати та діяти самостійно. Однак виконувати корисну роботу здатні лише у визначеному поєднанні між собою, утворюючи певну структуру технічної системи.

Структурою технічної системи називається створений конструктором відповідно до розробленого технологічного процесу функціональний взаємозв'язок технічних об'єктів, що дозволяє реалізувати визначений алгоритм дії та виконувати корисну роботу щодо виготовлення необхідних виробів. Таким чином, *структура* – це функціональний взаємозв'язок технічних об'єктів технічної системи.

Структурна схема – це спрощене зображення складових частин технічної системи умовними графічними позначеннями з лініями зв'язку, що дає загальне уявлення про устрій та принцип дії технічної системи.

На рисунку 2.2, для прикладу, показана структурна блок-схема певної технічної системи.

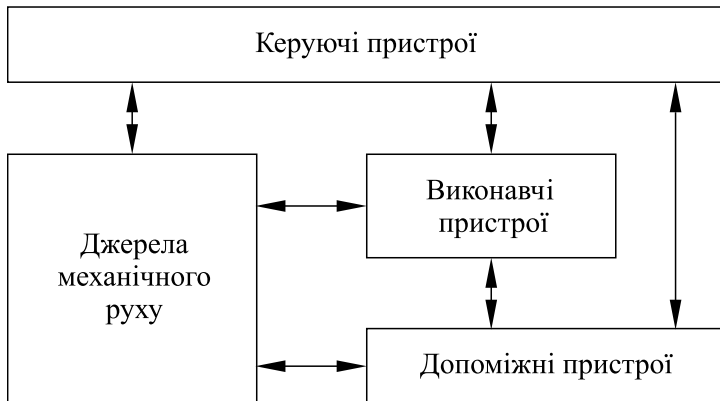


Рисунок 2.2 – Приклад структурної блок-схеми технічної системи

Технічна система може нормально функціонувати за своїм призначенням лише при наявності визначених зв'язків із зовнішнім середовищем:

- сировини, необхідної для виготовлення виробів;
- допоміжних матеріалів для забезпечення працездатності;

- енергії, що ефективно перетворюється в механічний рух;
- алгоритму функціонування відповідно до заданого технологічного процесу;
- регулярного технічного обслуговування;
- своєчасного видалення відходів виробництва;
- постійного виведення готових виробів із робочої зони відповідно до заданого ритму роботи;
- інтелектуального супроводу фахівцями відповідного профілю.

Зовнішні фактори, що забезпечують ефективну роботу технічної системи, подані на рисунку 2.3

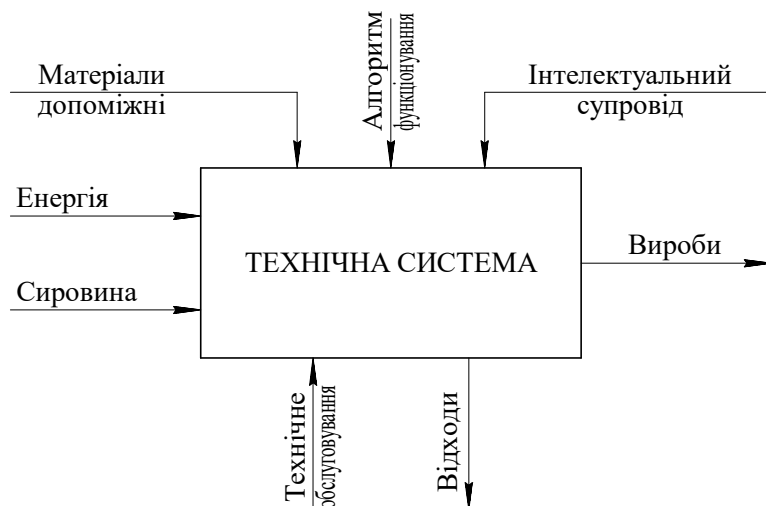


Рисунок 2.3 – Фактори, що забезпечують ефективну роботу технічної системи

Технологічний процес визначає функціональне призначення та алгоритм дії технічної системи, на основі якого будується структурна схема системи.

На рисунках 2.4 та 2.5 зображені приклади блок-схеми виконавчого та допоміжного пристроїв. Як видно з цих рисунків, виконавчі та допоміжні пристрої мають однакову структуру. Відмінність полягає в тому, що виконуючі пристрої, як правило, мають первинні датчики, що інформують систему керування технічної системи про стан та положення робочих органів виконавчих пристроїв та предмета виробництва. На основі аналізу первинної інформації система керування виробляє керуючі сигнали, що через виконавчі пристрої діють на робочий орган.

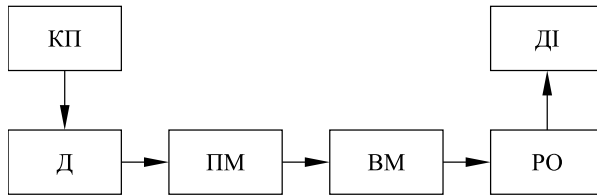


Рисунок 2.4 – Приклад блок-схеми виконавчого пристрою

*КП – керуючий пристрій; Д – двигун; ПМ – передавальний механізм;
ВМ – виконавчий механізм; РО – робочий орган; ДІ – датчик інформаційний*

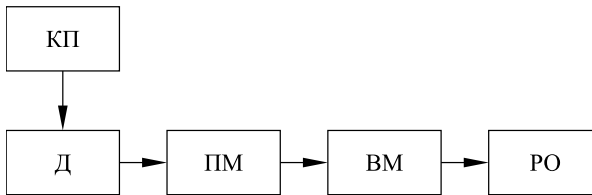


Рисунок 2.5 – Приклад блок-схеми допоміжного пристрою

*КП – керуючий пристрій; Д – двигун; ПМ – передавальний механізм;
ВМ – виконавчий механізм; РО – робочий орган*

У сукупності керуючі пристрої утворюють основу процесу управління, яка, відповідно до заданого алгоритму дії, забезпечує необхідне функціонування технічної системи.

2.2 РОЗВИТОК ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Життя технічної системи можна уявити у вигляді еволюційної S-подібної кривої (рис. 2.6), що запозичена з біології, оскільки в цьому відношенні її життя можна порівняти з життям організму.

На ділянці 1 кривої розвитку системи *A*, яку називають «дитинство», технічна система розвивається повільно. Потім вона швидко вдосконалюється, приходить пора інтенсивного розвитку – ділянка 2. На ділянці 3 темпи розвитку зменшуються, технічна система набуває свої можливості вдосконалення, настає зрілість. Потім приходить старість (ділянка 4), за якої система *A* деградує або деякий час утримує досягнуті показники. З часом система *A* замінюється принципово іншою системою *B*, зародження якої відбувається, як свідчить досвід, на ділянці 3 розвитку системи *A*, а її розвиток у часі носить той же характер.

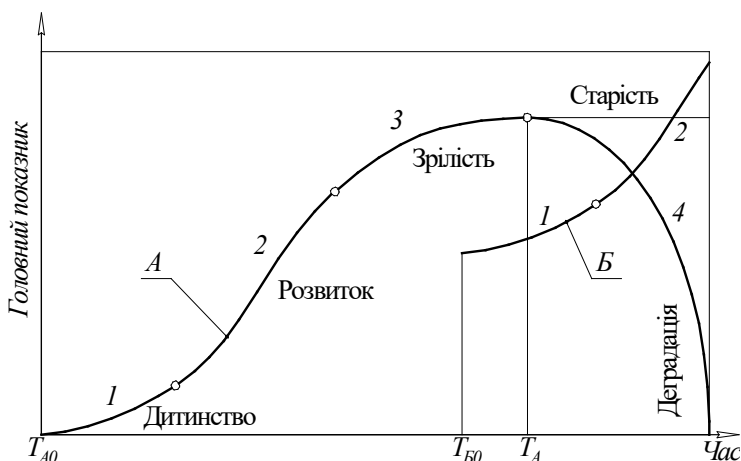


Рисунок 2.6 – Криві розвитку технічної системи

Дитинство відповідає народженню нових ідей та реалізації їх у працездатному зразку технічної системи. На цьому етапі з'являється багато винаходів високого рівня, хоча економічний ефект від їх використання є незначним або відсутнім. За мірою вдосконалення технічної системи, завдяки винаходам нижчого рівня (рівні винаходів та конструкторської діяльності висвітлені в розділах 5 та 4 відповідно), її показники швидко поліпшуються, і вона набуває широкого застосування. Цей період відповідає переходу від дитинства до динамічного розвитку. Кількість винаходів на цьому етапі різко збільшується. Розвиваючись, технічна система постійно вичерпує можливість вдосконалення, але бажання продовжити життя породжує винаходи, рівень яких є найбільш низьким. Економічний ефект від застосування таких винаходів буде значним завдяки масовому використанню виробу. Деградація технічної системи, яка настає в результаті зменшення основних показників, викликає зміну середовища надсистеми, в якій функціонує система. У певний період часу T_{Bo} (рис. 2.6) з'являється нова технічна система Б, яка має такі самі цикли (етапи) розвитку, що й система А.

Таким чином, технічний рівень виробів та технічних систем (сукупність технічних показників, що визначають загальну цінність виробу) з часом підвищується завдяки впровадженню винаходів.

Розглянемо для прикладу лише один показник – робочий тиск в технологічному та енергетичному обладнанні, який змінювався впродовж останніх 200 років у промислових та дослідних

установках (орієнтовна величина і характер зміни робочих значень тиску показано на рисунку 2.7). Для досягнення більш високого цього показника, в установках використовувались різноманітні принципи та засоби, що об'єднуються лише результуючою абстрактною функцією – силою тиску.

Як видно з рисунку, ріст робочого тиску відбувався стрибкоподібно, через певні проміжки часу. Проміжки часу відповідають періодам, що були необхідні для розробки нових принципів і засобів (ламана 1) та впровадження їх у виробництво (ламана 2). А величина вертикальних ділянок відповідає росту показника. При цьому робочі тиски, що досягались при дослідженнях, завжди перевищували ті, що впроваджувались в промислові установки.

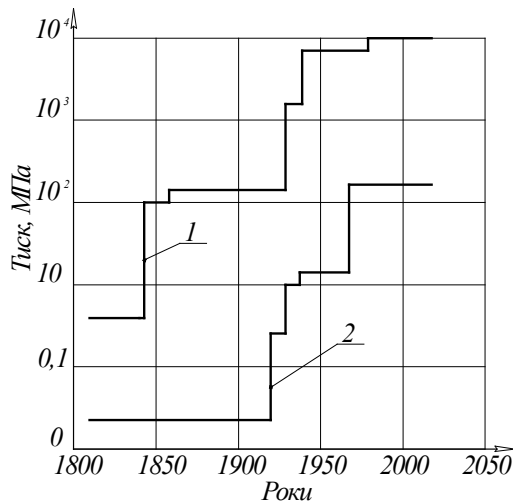


Рисунок 2.7 – Зміни робочого тиску в процесі технічного розвитку

1 – дослідницькі установки; 2 – промислові установки

Такий характер росту величин певного параметру в часі (тиск, потужність, навантаження, швидкість тощо) є характерним для більшості технічних систем різного призначення, та характеризують їх технічний рівень.

Для наочності на рисунку 2.8 показано сімейство умовних еволюційних кривих, що відображають різний технічний рівень (ТР) різноманітних видів діяльності певної галузі. Технічний рівень нової техніки на еволюційному шляху розвитку від винаходу (відкриття) до запровадження його в експлуатацію поступово знижується, хоча кожен вид діяльності має тенденцію

вдосконалення в часі. Це пов'язано як з технічними протиріччями та їх подоланням так із виникненням нових більш прогресивних технічних систем.

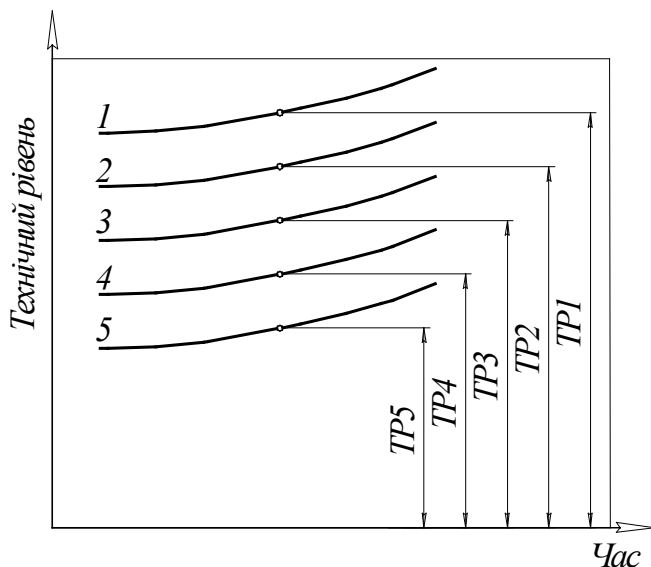


Рисунок 2.8 – Еволюційні криві різних видів діяльності

1 – винаходи та відкриття; 2 – дослідження; 3 – розробка; 4 – виробництво;
5 – експлуатація

Із розвитком техніки підвищується технічний рівень машин, змінюються функції, що виконуються, та вдосконалюється принцип їх конструювання. З точки зору морального зносу, машина, як технічна система, має визначені «етапи життя» у сфері виробництва (рис. 2.9) та експлуатації (рис. 2.10), що відображається на рентабельності (рівні досягнутого прибутку).

У сфері виробництва з появою нової конкурентоспроможної машини збут виробника (рис. 2.9) швидко зростає, досягає максимуму $T_{кр2}$ та за мірою насичення споживчого ринку починає скорочуватися. Аналогічно змінюється прибуток підприємства-виробника, досягаючи максимуму $T_{кр1}$. Максимуми кривих збуту та прибутку, як правило, не співпадають за часом внаслідок інерції виробництва.

Після досягнення максимального прибутку технічна система стає збитковою, що потребує її заміни новою за законом, зображеним на рисунку 2.6.

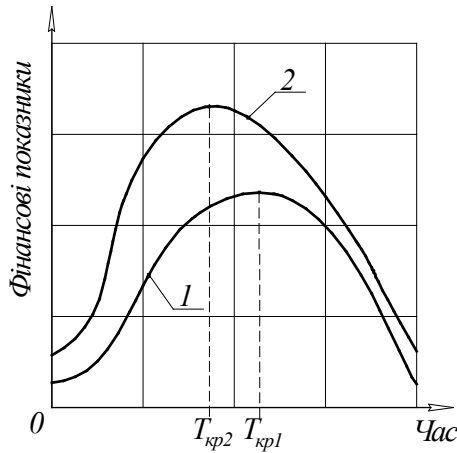


Рисунок 2.9 – Етапи життя технічної системи при виробництві
 1 – прибуток виробника; 2 – збиток виробника

У сфері експлуатації типовий «цикл життя» машини (рис. 2.10) визначається різницею між прибутком (крива 2), який отримує споживач, та експлуатаційними витратами (крива 1). Як видно з графіків, з часом ця різниця зменшується і починаючи з критичного моменту $T_{кр}$ експлуатація машини стає збитковою через фізичний та моральний знос, що, як і у попередньому випадку, також спонукає появу нової більш ефективної техніки.

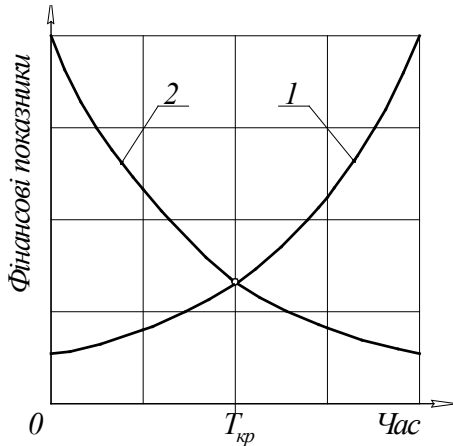


Рисунок 2.10 – Етапи життя технічної системи при експлуатації
 1 – експлуатаційні витрати; 2 – прибуток

Таким чином, розвиток технічних систем є неперервним процесом підвищення технічного рівня виробництва за певними принципами еволюційного вдосконалення.

2.3 ПРИНЦИПИ РОЗВИТКУ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

принцип вдосконалення конструкції; принцип прогресивної еволюції; принцип поступального руху; принцип відповідності; принцип стадійного розвитку; принцип кореляції параметрів; принцип симетрії; принцип створення похідних; принцип блочно-модульної побудови; принцип стимулювання розвитку; принцип створення та впровадження; принцип прагнення

Наука про принципи розвитку техніки лише починає формуватися. Зараз з'являються перші гіпотези, закономірності та принципи, що стосуються побудови та розвитку технічних систем. Проте загальноприйняті та строго доведені окремі закони відсутні і не оформлені в єдину замкнену систему. Побудова такої системи та пояснення окремих законів є одним із найважливіших напрямків наукових досліджень у галузі машинознавства та загальної теорії проектування.

Однак трактування запропонованих на даний час принципів розвитку технічних систем, що відповідають практичним прагненням, та методичні матеріали, що базуються на цих принципах, а також знання більш локальних закономірностей дають можливість прискорити процес творення нової техніки.

Досвід, накопичений людством протягом багатьох століть при творенні нової техніки, дозволяє нам сформулювати деякі нові принципи розвитку технічних систем та структурувати їх, умовно поділивши на еволюційні, функціональні та обумовлені ринком, хоча можливі й інші критерії поділу.

Еволюційними принципами, які мають діалектичний характер, слід назвати принцип вдосконалення конструкції, принцип прогресивної еволюції та принцип поступального руху.

До функціональних принципів віднесено принцип відповідності, принцип стадійного розвитку, принцип кореляції параметрів, принцип симетрії, принцип створення похідних та принцип блочно-модульної побудови.

Принцип стимулювання розвитку, принцип створення та впровадження і принцип прагнення є такими, що обумовлені ринковими умовами.

Розглянемо запропоновані принципи розвитку техніки.

Принцип вдосконалення конструкції

Вдосконалення техніки, як уже наголошувалося, відбувається постійно.

Неперервне вдосконалення конструкції існуючих технічних систем для здійснення певного технологічного процесу відбувається шляхом:

- спрощення конструкції виконуючих механізмів;
- розширення технологічних можливостей допоміжних пристроїв;
- застосування джерел механічного руху з плавним регулюванням швидкості ходу;
- створення автоматизованих систем керування, що дозволяють оптимізувати технологічний процес;
- створення швидко переналагоджуваних технологічних об'єктів, що забезпечують мобільність технологічного виробництва;
- знаходження нових технічних рішень, що підвищують надійність технічних об'єктів;
- зменшення шкідливого впливу технологічних факторів на навколишнє середовище та людину;
- перехід від групового до індивідуального приводу окремих механізмів;
- створення адаптивних систем керування;
- зменшення зайнятості людини в технологічному процесі.

Принцип прогресивної еволюції

Технічні системи вдосконалюються при переході від покоління до покоління.

Таке вдосконалення технічних систем відбувається при виявленні в процесі експлуатації одного або декількох недоліків конструкції, що знижують технічний рівень виробу.

Розвиток технічних систем при цьому відбувається шляхом поступового імпульсивного нарощування технічних параметрів за рахунок покращення її структури, удосконалення конструкції технічних об'єктів, застосування нових, більш ефективних, фізичних принципів для їх побудови і залежить від науково-технічного рівня розвитку галузі та соціально-економічної доцільності вдосконалення.

Науково-технічний рівень розвитку галузі визначається наявністю розроблених технологій, джерел енергії та матеріалів, інформації про фізико-технічні ефекти тощо, що робить перехід технічно можливим.

Соціально-економічна доцільність розвитку технічних систем визначається потребою суспільства, економічною вигодою та екологічними наслідками.

Перехід технічних систем від покоління до покоління відбувається циклічно.

1-ий цикл – параметричний. Покращення окремих параметрів технічної системи відбувається до тих пір, поки не буде досягнутий загальний параметричний максимум можливого в даній конструкції при незмінному фізичному принципі дії та технічному рішенні, тобто структури.

2-ий цикл – структурний. Після вичерпування можливостей параметричного покращення технічної системи здійснюється перехід на більш раціональне технічне рішення (структуру) при незмінному фізичному принципі дії, і розвиток знову йде за параметричним циклом.

Цикли 1 та 2 повторюються до тих пір, поки не буде досягнутий глобальний екстремум за можливими структурами для даного фізичного принципу дії.

3-ий цикл – фізичний. Після вичерпування можливостей першого та другого циклів відбувається перехід на більш раціональний фізичний принцип дії, і далі розвиток йде послідовно за параметричним та структурним циклами.

Цикли 1, 2 та 3 повторюються до тих пір, поки не буде досягнуто глобальний екстремум за принципом дії для безлічі відомих фізичних ефектів.

Принцип поступального руху

Розвиток технічних систем відбувається за вектором, що направлений на створення безлюдних виробництв.

Безлюдні виробництва передбачають роботу технічних систем без участі людини. У цьому випадку на обслуговуючий персонал покладають такі функції:

- контролю;
- оперативного реагування на відмови;
- регулювання технологічних параметрів;
- організація ремонтів та технічного обслуговування;
- знаходження нових технологічних рішень.

Історія розвитку техніки підтверджує наявність принципу поступального руху. Дійсно, розвиток технічних систем відбувається за таким послідовним ланцюжком:

- ручне виконання операцій;
- механізація окремих операцій;
- комплексна механізація виробництва;
- автоматизація виробництва;
- перехід до безлюдних технологій.

Не виключено, що в майбутньому технічні системи відповідатимуть такому рівню, який виведе функції людини з процесу

виробництв. На людину будуть покладені тільки обов'язки створення технічних систем для безлюдних виробництв.

Принцип відповідності

Технологічний процес, на базі якого будується структурна схема технічної системи, визначає функціональне призначення та алгоритм дії майбутньої машини.

Таким чином, встановлюється рівновага між функцією та структурою. Функція визначає структуру, а структурна побудова забезпечує необхідні технологічні можливості технічної системи. У цьому полягає зміст закону відповідності між функцією та структурою.

Викладене дозволяє зробити висновок про те, що технологічний процес є первинним, а структурна схема є вторинним фактором (критерієм) творення нової техніки.

Із цього принципу витікає важливий наслідок, що використовується при функціонально-вартісному аналізі техніки. Кожний структурний елемент технічної системи несе певне функціональне навантаження. Якщо виключення структурного елемента зі складу технічної системи не зменшує функціональних можливостей машини, то даний структурний елемент є зайвим і його можна вилучити.

Принцип стадійного розвитку

Фундаментальне розширення функціональних можливостей технічної системи здійснюється шляхом її структурних змін та доповнень технічними об'єктами на основі останніх досягнень науки й техніки, і відбувається плавно або ступінчасто за стадіями: технологічна, енергетична, автоматична, адаптивна.

При цьому послідовно вилучають із технологічного процесу відповідні функції, що виконуються людиною.

1-ша стадія – технологічна. На першій стадії створюються механічні пристрої з ручним приводом, які складені з одного або декількох механізмів для виконання певної технологічної операції. При цьому людина самостійно приводить їх в рух і є активним учасником технологічного процесу.

2-га стадія – енергетична. На другій стадії механічний пристрій доповнюють енергетичним джерелом механічного руху, тобто двигуном, що приводить у рух виконуючі механізми пристрою. Так відбувається перетворення механічного пристрою в робочу машину. При цьому людина залишається активним учасником технологічного процесу.

3-тя стадія – автоматична. На третій стадії робоча машина із джерелом механічного руху доповнюється системою керування

технологічними режимами та технологічним процесом. Робоча машина набуває програмного керування та перетворюється в технічну систему, що залишає за обслуговуючим персоналом контрольні, наладжувальні та ремонтні функції.

4-та стадія – адаптивна. На четвертій стадії робоча машина з приводом та системою керування доповнюється іншими системами, що дозволяють їй пристосовуватися до зміни умов навколишнього середовища або до змін відповідної структури чи алгоритму функціонування, що гарантує високу якість виготовленої продукції та підвищує ефективність робочої машини. При цьому робоча машина формується в адаптивну технічну систему, що виводить людину із технологічного процесу.

Принцип кореляції параметрів

Технічні системи, що мають однакову структуру, виконують однакові функції, працюють в однакових умовах та відрізняються лише значенням головного параметру, утворюють однорідний ряд. Головним є такий параметр a , що повністю характеризує виконуючий пристрій головного руху, від якого залежать решта параметрів технічної системи.

Наприклад, для насосної техніки та пресів: $a = pV$, де p – максимальний тиск рідини, Па; V – витрата рідини, $\text{м}^3/\text{с}$, а для металорізальних верстатів зі шпиндельним вузлом (виконавчим пристроєм) головного руху головним параметром є добуток $a = dn$, де d – діаметр отвору шпинделя, мм; n – максимальна частота обертання, хв^{-1} .

Таким чином, для визначення інших параметрів технічних систем з того ж самого ряду достатньо знати значення головного параметра.

Цим принципом користуються при виборі аналога або прототипу, що розробляється.

Принцип симетрії

Технічна система піддається впливу потоку окремих компонентів навколишнього середовища та може існувати за умови зовнішнього живлення потоком робочого середовища, що містить сировину, матеріали, енергію та технологічну інформацію.

Цікавим і корисним є аналіз працездатності технічної системи з точки зору виконання законів симетрії.

Між потоком робочого середовища та структурою технічної системи встановлюється визначений тип симетрії, що зумовлений комбінацією параметрів та характером впливу окремих компонентів робочого середовища на дану технічну систему.

При порушенні встановленої рівноваги (симетрії) між потоком робочого середовища та структурою технічної системи ефективність та надійність роботи технічної системи погіршується.

Пошук оптимальної симетрії є базовою вимогою при проектуванні технічної системи, і досягається вона за умов досягнення максимальної продуктивності та забезпечення мінімальної собівартості процесу.

Принцип створення похідних

Похідні машини створюються на основі базової моделі з метою отримання різних експлуатаційних показників, або з отриманням машин різного призначення, що виконують якісно інші операції однакового призначення. При цьому використовуються методи, що закладають основу для блочно-модульної побудови технічних систем. Серед них: секціонування, агрегатування, зміна лінійних розмірів, базового агрегату, конвертування, компаундування, модифікування, комплексної стандартизації тощо.

Секціонування полягає в розподілі машини на однакові секції та утворення похідних машин набором уніфікованих секцій.

Агрегатування – це створення машин шляхом поєднання уніфікованих агрегатів, що представляють собою автономні вузли, які встановлюються в різній кількості та комбінаціях на загальній базі.

Зміна лінійних розмірів полягає в тому, що з метою отримання різної продуктивності машин та агрегатів змінюють їх величину, зберігаючи форму поперечного перерізу.

Метод базового агрегату – це застосування базового агрегату, що перетворюється в машини різноманітного призначення шляхом приєднання до нього спеціального обладнання.

Конвертування – використання базової машини для створення агрегатів різного призначення.

Компаундування (метод паралельного з'єднання машин або агрегатів) застосовують з метою збільшення загальної потужності або продуктивності машини.

Модифікування – переробка машини з метою пристосування її до нових умов роботи, операцій та видів продукції без зміни основної конструкції.

Комплексна стандартизація полягає в стандартизації всіх або майже всіх елементів.

У деяких випадках можливе утворення ряду уніфікованих похідних машин різної потужності або продуктивності шляхом зміни кількості головних робочих органів та їх застосування в різноманітних поєднаннях. Такі ряди називають сімейством, гамою або серією машин.

Цей спосіб застосовується до машин, потужність або продуктивність яких залежить від числа робочих органів.

Принцип блочно-модульної побудови

Блочно-модульний принцип побудови технічних систем полягає в тому, що система створюється з окремих самостійних частин блоків і модулів. Тобто виріб збираються завдяки нескладним операціям з функціонально автономних збірних одиниць.

Це дозволяє досить легко усунути несправності, що виникають у процесі експлуатації, шляхом заміни окремих блоків, а також виконувати ремонт несправних блоків (модулів) в умовах спеціалізованих майстерень.

Сьогодні спостерігається стійка тенденція блочно-модульної побудови структури промислових виробів. Блочно-модульний принцип побудови структури дає можливість не лише зменшити час простоїв технологічного обладнання, понизити експлуатаційні витрати та підвищити ефективність його роботи, але й дозволяє розробникам виробу цілеспрямовано працювати над удосконаленням окремих блоків, покращуючи їх технічні показники до досягнутих в цілому для решти блоків технічної системи.

Принцип стимулювання розвитку

Розвиток технічних систем стимулюється потребою суспільства. При наявності певного рівня соціально-економічного розвитку суспільства виникають потреби, які задовольняються за допомогою вперше створених засобів технологічного оснащення, в тому числі технічних систем. При цьому нові технічні системи існують до тих пір, поки вони служать соціальним потребам.

Таким чином, зростання потреб стимулює інженерну діяльність, найвищим рівнем якої є винахідницька та науково-дослідницька роботи. В результаті народжуються нові винаходи та наукові відкриття. Вони дають можливість створювати нові промислові вироби та товари побутового призначення з новими споживчими властивостями. Для їх виробництва необхідні нові засоби технологічного оснащення, в тому числі й технічні системи.

Таким чином, винаходи та наукові відкриття формують у суспільства нові потреби. Слід зауважити, що кількість нових винаходів та наукових відкриттів залежить від науково-технічного потенціалу суспільства, що визначається технічними здібностями кожної особи, якістю отриманої освіти та вимагає постійного оволодіння сучасними знаннями.

Отже, розвиток технічних систем повністю визначається станом

науково-технічного прогресу в певній галузі промисловості й економіки держави в цілому.

Принцип створення та впровадження

Сучасна технічна система може бути створена лише на основі останніх досягнень науки і техніки й впроваджена в матеріальне виробництво за умови наявності у споживача кваліфікованих спеціалістів, здатних здійснювати технічне обслуговування, ремонт та експлуатацію нових технічних систем.

Наприклад, металорізальні верстати з числовим програмним керуванням з'явилися після винаходу електронних обчислювальних пристроїв, що були результатом багаторічних досліджень різних учених в галузі фізики, хімії, матеріалознавства, електроніки тощо.

Впровадження верстатів із числовим програмним керуванням (ЧПК) відбувалося впродовж тривалого часу (приблизно 5...10 років) та вимагало від машинобудівних підприємств значних зусиль. На заводах створювали спеціалізовані підрозділи, що займалися не лише впровадженням, але й навчанням технічних кадрів для обслуговування таких верстатів.

Отже успішне впровадження нових засобів технологічного оснащення може бути прискорено, якщо під час навчання майбутнім спеціалістам будуть прививати стійке бажання пізнавати останні досягнення науки і техніки та втілювати їх в життя.

Принцип прагнення

Кожна галузь техніки, що відокремлюється у вигляді окремої гілки від загального напрямку розвитку машинобудування, прагне розвиватися автономно, готуючи тим самим диспропорцію технічних рівнів машин, що створюються в різних галузях.

Образно кажучи, кожна галузь машинобудування є подібною до шляху, йдучи по якому, спеціалісти окремої галузі починають працювати самостійно та вишукувати свою стежу, мало цікавячись тим, що робиться на сусідніх.

Важливими є висновок цього принципу: для успішного розвитку певної галузі машинобудування необхідно постійно слідкувати за напрямом та тенденцією розвитку суміжних провідних галузей.

Знання, навіть таких дискусійних принципів, дозволяє більш прагматично вирішувати конструкторсько-технологічні задачі машинобудування, ефективніше впливати на процес творення нової техніки та сприяти прискоренню науково-технічного прогресу.

2.4 МАТЕРІАЛІЗАЦІЯ НАУКОВИХ ІДЕЙ

п'ять кроків пошуку нового; погляд в минуле; послідовність процесу матеріалізації; критерії працездатності; технічні розрахунки

Втіленням науково-технічних ідей у реальну конструкцію технологічної машини займаються розробники нової техніки (конструктори та технологи), від професійних умінь яких залежить науково-технічний прогрес і тенденції розвитку людства.

На розробників нової техніки покладається тягар відповідальності за втілення в життя результатів прикладних досліджень. Тому підготовці конструкторів і технологів необхідно приділяти особливу увагу, формуючи таким чином високий науково-технічний потенціал суспільства, від якого залежить здійснення найзухваліших думок видатних учених, направлених на благо цивілізації.

У процесі виконання фундаментальних досліджень учені встановлюють раніше невідомі об'єктивно існуючі закономірності, властивості і явища матеріального світу, отримуючи таким чином нові знання для людства. Результати фундаментальних досліджень стають предметом прикладних досліджень, задача яких полягає в тому, щоб знайти застосування набутих знань для потреб суспільства. При виконанні прикладних досліджень виникають нові науково-технічні ідеї, на базі яких розробляють нові конструкційні матеріали та речовини, нові способи генерування і перетворення енергії, нові способи впливу на предмети праці, нові технологічні процеси і таке інше.

Для здійснення нових виробничих процесів, як правило, необхідна розробка нового покоління технологічних машин, що мають принципово іншу побудову, що здатні більш якісно та ефективно виконувати задані функції за найменших витрат суспільної праці. Задача є достатньо складною, трудомісткою і відповідальною та вимагає наявності висококваліфікованих фахівців машинобудівної галузі та чіткої послідовності матеріалізації наукових ідей.

П'ять кроків пошуку нового

Аналіз практичної діяльності багатьох дослідників та винахідників дає можливість сформулювати деякі основні кроки (принципи) методології творчості. Цими кроками повинен керуватись кожен новатор в науці та техніці. Вони прийнятні не тільки при постановці й вирішенні вагомих технічних проблем, а й при вирішенні будь-якого практичного завдання пов'язаного зі створенням нового в різних галузях науки, техніки та практики.

Стисло ці кроки можуть бути сформульовані так:

1. Аналіз поставленої перед собою задачі з точки зору її сучасності і суспільної потреби. Розкриття внутрішніх суперечностей у

процесах, що обумовлюють постановку задачі.

2. Перевірка правомірності постановки задачі з точки зору загальних законів природи.

3. Перевірка здійсненності задачі на сучасному рівні науки, техніки та виробництва.

4. Розробка загальної схеми вирішення задачі та вибір основного, тобто визначального, експерименту.

5. Оцінка отриманих результатів головного експерименту та знаходження їх діалектичного взаємозв'язку з поставленою задачею.

Безумовно, слід ретельно вивчити все, що вже зроблено для вирішення поставленої задачі у світовій практиці, щоб не винаходити винайдене раніше та не повторювати пройдених етапів.

Зокрема, перший принцип добре сформульований у вислові Фрідріха Енгельса про те, що попит рухає науку краще, ніж десять університетів. Можна навести багато прикладів, які показують, як правильно визначена з цих позицій задача призводила до бурхливого розвитку науки й техніки та навпаки, як задачі, сформульовані у відриві від сьогодення, виявилися безплідними, невирішеними і в результаті забутими. Підтвердженням цього можуть слугувати історичні факти (приклади), що наведені в наступному пункті «Погляд в минуле».

Труднощі, з якими зустрічається новатор, винахідник, дослідник загальновідомі. Про це написано немало книг, статей, п'єс, створено кінофільмів.

Трапляється, що новатор у своїй діяльності стикається з рутиною і відсталістю. І це трапляється часто не від того, що працівник, до якого звертається новатор, за своєю природою ворог всьому новому. Ні, є й інша, більш глибока причина. Вся біда в тому, що людина, колись засвоївши яку-небудь нову або загальноприйнятну істину, так споріднюється з нею, що з деякого часу сама стає її бранцем. Стан таких людей можна охарактеризувати словами Маркса: «Ідеї, котрі опановують нашою думкою, підпорядковують собі наші переконання. Це пута, з яких неможливо вирватися, не розірвавши свого серця».

Але є й такі керівники наукових, проектних, конструкторських та виробничих організацій, які вважають, що всі питання технічного прогресу можуть бути вирішені силами штатних співробітників. Але вони забувають, що будь-яка організація завжди обтяжена вантажем попередніх робіт. Вантаж цей – накопичений досвід – допомагає швидше вирішувати питання, але в той же час він перешкоджає пошуку принципово нового. У цьому і є єдність та суперечність прогресу.

Деколи навіть дуже відповідальні технічні чи наукові керівники роблять іронічні зауваження на адресу тих, чії голови охоплюють ідеї. Мовляв, і так «в повітрі літає» безліч всяких ідей та думок, які ми не встигаємо втілити, а ви ще придумуєте нове та нове...

Можливо, вони мають рацію? Безумовно, ні! Все в житті пливе й розвивається. Те, що сьогодні нове, завтра стає старим, а новітнє буде краще нового. Якщо з якогось конкретного технічного питання є дві, п'ять, навіть десять нових ідей, то потрібно зуміти вибрати з них кращу, а можливо, відшукати одинадцяту, більш досконалу. Меж у науковій та технічній творчості немає і бути не може.

Творчий шлях вирішення задачі обов'язково повинен починатися з аналізу (перший пункт викладених кроків) і завершуватись знову аналізом (пункт п'ятий).

Погляд в минуле

Із безлічі задач, які висувались у порядку індивідуальної творчості, не у відповідності з потребами суспільства і часу, можна навести спроби Леонардо да Вінчі створити літальний апарат (літак) та парову машину. В архівах цього геніального трудівника знайдені кресленики крила літака та кресленики циліндра з поршнем для парової машини.

Відомо, що ці ідеї, не дивлячись на їх геніальність, у той час не отримали розвитку. Та й інакше не могло бути, оскільки в суспільстві не було попиту на них та й ці ідеї не були підготовлені попереднім ходом розвитку науки та техніки. Вони були геніальним стрибком вперед, значно випереджуючи свій час. Пройшло понад 300 років, перш ніж людство приступило до розробки аналогічних ідей.

Леонардо да Вінчі жив у 1452 — 1519 роках, був винятково талановитою людиною. Як видатний художник, він створив картини, якими людство захоплюється донині. Як видатний вчений, він залишив глибокий слід у багатьох галузях науки — від математики до анатомії. Він також був геніальним інженером із різноспрямованими технічними ідеями. На всій творчості Леонардо да Вінчі лежить печать геніальності, але його інженерний геній розбився об неможливість технічного втілення його ідей при існуючому тоді рівні науки й техніки, хоча ці ідеї не суперечать ніяким законам фізики.

Віками людство мріяло про політ, перш ніж ця мрія здійснилась. Із глибокої давнини дійшов до нас міф про політ Ікара до сонця. «Сильно змахнувши крилами, він злетів високо, під саме небо, ближче до променистого сонця. Палюче проміння розтопило віск, що скріплював пера крил, повипадали пера і розлетілися далеко в повітрі, гнані вітром. Махнув Ікар руками, але немає на них більше крил. Стрімголов

упав він зі страшної височини в море й загинув у його хвилях».

У другій половині XVI століття на Русі смерду Нікіткє, що спорудив крила і спробував полетіти з їх допомогою, «за сие содружество с нечистой силой» було наказано відрубати голову. «Тело окаянного пса смердящего бросить свиньям на съедение. А выдумку, аки дьявольской помощью снаряженную, после божественной литургии огнем сжечь».

В іншому офіційному документі повідомляється, що в 1725 році сільський коваль Черпак Гроза також спробував піднятися у височину на саморобних крилах. У 1731 році Рязанський паламар Крякутний спорудив повітряну кулю та піднявся на ній. За свідченням літописців того часу «нечистая сила подняла его выше березы, а после ударила о колокольню». Цього сміляка спочатку хотіли закопати живим у землю або спалити, та згодом вирішили відлучити від церкви та вигнати з міста.

І скільки ще безіменних героїв жорстоко поплавились за свої сміливі мрії. Особливо звірствувала церква. Священнослужителі розправлялися з усіма, хто хотів хоча б ненадовго відірватись від грішної землі. Вони бачили в цьому гріх, вину перед Богом. На їх думку, тільки святі янголи могли літати в небесах, людині ж, народжений без крил, літати не дано.

Людина сама завоювала собі право на політ. Тепер вікова мрія втілювалась у сотнях варіантів першокласних літаків і навіть космічних кораблів. Таким чином, мрія, фантазія, домисел стали реаліями нашого життя.

Але в практиці наукової та технічної творчості відомі не тільки ідеї та думки, народжені з випередженням часу. Якщо мрія про політ на крилах прийшла з глибокої давнини з її казковими килимами-літаками, тобто з часів, коли не було ніякої можливості для її здійснення, то ідея пароплава, навпаки, з'явилась значно пізніше свого часу. До моменту появи ідеї пароплава уже були всі матеріально-технічні можливості для його створення. Не вистачало тільки тієї синтезуючої думки, яка б об'єднала ці можливості та надала їм нову якість.

Ще задовго до початку наполеонівських війн моря та океани борознили вельми досконалі парусні кораблі. Англія, наприклад, на той час володіла потужним парусним флотом військового та торгового призначення, завдяки якому стала могутньою морською державою. У десятках шахт уже працювали парові насоси, створені Ньюкоменом. Уже існували і парові машини Дж. Уатта. Що стосується рушіїв, тобто тих засобів, за допомогою яких кораблі могли б відштовхуватися від маси води (гребні гвинти, колеса, весла), то вони теж застосовувались у найрізноманітніших формах. Ще за часів

Карфагена гребні галери, що приводились у рух мускулами рабів, борознили Середземне море.

Таким чином, все було в наявності: і плаваючі кораблі великих розмірів, і машини, що використовували теплову енергію горіння, і засоби взаємодії корпусу корабля з масою води (рушії). Не було тільки ідеї, яка об'єднала б всі ці засоби в єдине ціле.

Така ідея, як відомо, пов'язана з іменем Роберта Фултона (1765 — 1815). Перекоаний у тому, що Наполеон, який у той час вів війну проти Англії, підтримує його ідею, Фултон вирушив у Францію. Він добився особистої аудієнції з Наполеоном і виклав йому суть свого винаходу, переконливими розрахунками показав, що, у випадку заміни парусного флоту паровим, Франція змогла б нейтралізувати флот Англії та виграти битву. Фултон привіз Наполеону кресленики не тільки пароплавів різних конструкцій, а й підводних човнів. Його бажання допомогти Франції підкріплювалися в цьому випадку ще й патріотичними почуттями, оскільки в його свідомості були свіжими спогади про визвольну війну Сполучених Штатів Америки проти метрополії. Фултон, як американець, пристрасно бажав поразки Англії. Він розраховував, що отримає від Наполеона якнайбільшу підтримку своєму винаходу.

Проте Наполеон і його наукові радники, такі як Г. Монж, П.-С. Лаплас і К.Ф. Вольней не змогли зрозуміти прогресивний характер ідей Фултона.

Переказують, що в роздратуванні Наполеон сказав:

— Скажи, хто тебе направив до мене? Ти хочеш, щоб я повірив у твою ідею, що паром можна рухати кораблі? Ти хочеш, щоб я дав тобі на це гроші, а ти спритним маневром обезкровив би казну Франції? Ні, я не з тих, хто може повірити першому зустрічному шарлатану. Та й мої вчені такої ж думки про твій винахід.

Безумовно, цю історичну помилку Наполеон здійснив не самостійно, а під впливом своїх вчених радників. Це вони поставили могильний хрест над ідеями Фултона. Помилка була скоєна. Якби проявив тоді Наполеон більше розсудливості й стриманості, історія ХІХ століття, можливо, була б іншою.

Фултон повернувся в США і здійснив свій задум: у 1807 році спорудив перший у світі колісний пароплав «Клермонт» (насправді Фултон назвав його «Пароплав північної ріки» (англ. North River Steamboat), а «Клермонтом» називалась садиба його партнера Лівінгстона, на річці Гудзон у 177 км від Нью-Йорка, яку пароплав відвідав під час свого першого плавання). Про перший його рейс було оголошено у всіх газетах. Пароплав відправлявся 17 серпня річкою Гудзон до Олбані (266 км від Нью-Йорка). Половина жителів

Нью-Йорка прийшла на берег в день відплиття пароплава. Всі з зацікавленістю дивилися на це видовище, але так нікого і не знайшлося, щоб скласти компанію перших пасажирів на «вогняному кораблі». У перший рейс пароплав відправився без єдиного пасажира. На зворотному шляху знайшовся один адвокат, який наважився плисти на цьому незвичайному кораблі. Він підійшов до одного з членів екіпажу і спитав:

– Скажіть, будь ласка, кому я повинен заплатити за квиток та скільки?

– Ні. Це не Ви повинні платити мені, це я Вам повинен заплатити за те, що повірили в мою ідею. Це був сам Фултон. Як він не стримувався, але на його очі набігли сльози.

Децю пізніше, коли ідея пароплава уже оволоділа людським розумом та отримала свій розвиток, різні компанії розпочали бурхливе спорудження різноманітних пароплавів. Наполеону знову довелося почути ім'я Фултона, на цей раз за інших обставин.

Війна закінчилася. Наполеон програв її, і його на паруснику везли на острів Святої Єлени. У відкритому морі їм зустрівся корабель, що рухався за допомогою тієї самої «вогняної сили», яку він колись відкинув. Наполеон пильно й довго дивився на цей корабель, на те, як він без парусів легко прорізає морські хвилі і прокладає собі шлях. Він задумався, схилив голову і мовив:

– Ось вона, помилка моя.

І сльози на цей раз були уже не на очах Фултона, а на очах Наполеона.

Тут ми не торкаємося тих труднощів, з якими стикався винахідник першого пароплава при здійсненні своєї ідеї. Ми тільки помічаємо найсуттєвіше. Зі сказаного видно, що свідомість суспільства до того часу ще не була готова для сприйняття ідеї, хоча в матеріальному плані вона була підготовлена всім попереднім ходом та розвитком науки й техніки.

Як не дивно, але ім'я Фултона й історія створення ним пароплава зіграли немаловажну роль у дні Другої світової війни при створенні атомної бомби.

Німеччина, при підготовці до Другої світової війни, розраховувала на її швидке закінчення, і тому Гітлер видав наказ, що забороняв фінансування будь-яких науково-дослідних робіт тривалістю понад 6 місяців. Це мотивувалося необхідністю мобілізації всіх внутрішніх ресурсів Німеччини для ведення блискавичної війни. Тому, керуючись цим законом, атомні роботи, як тривалі та матеріалоємні не могли належно фінансуватись. Їм не приділялось належної уваги. Багато відомих фізиків-атомників, рятуючись

від фашизму, змушені були покинути Німеччину та Італію. Вони знайшли нову батьківщину – США.

Для створення атомної бомби були потрібні величезні кошти, які могла надати тільки держава. За порадою ряду вчених, Ейнштейн звернувся до Рузвельта з особистим посланням. У цьому листі були викладені принципові можливості створення нової зброї, які базувались на принципі розщеплення атомів. Автор просив президента звернути на це особливу увагу. Ейнштейн був переконаний, що американський уряд підтримає ініціативу вчених. Лист одного з найвідоміших вчених, безумовно, було відразу ж подано президенту. Але Ейнштейн не досяг ніякого результату. Рузвельт уважно прочитав листа і, повернувшись до доповідача, сказав:

– Я добре розумію прагнення вчених, співчуюю, але вкласти кошти держави у це я не можу. Зараз є справи важливіші. Американський уряд невдовзі буде змушений вести одночасну війну проти Німеччини та Японії, і на це необхідні величезні кошти, потрібні всі резерви держави.

Особливо велику недовіру до нових засобів ведення війни, до атомного проекту висловлювали тоді військові діячі США. У розмовах із ученими вони давали зрозуміти, що вважають їх не більше, ніж звичайними «божесвільними винахідниками».

Переконавшись, що схилити американський уряд до фінансування робіт з атомної енергії не вдається, вчені вибрали інший шлях. Вони вирішили розповісти про це Рузвельту не в офіційній обстановці, а, так би мовити, за чашкою чаю. І ось знайдено людину. Сакс був вхожий у дім Рузвельта. Одного разу, вибравши зручний момент, він почав розповідати Рузвельту про ті надзвичайні перспективи, що відкриваються при використанні ядерних реакцій. Рузвельт уже хотів припинити слухати, оскільки знав про це з особистого листа самого Ейнштейна. Проте Сакс вирішив використати останній козир. Він сказав президенту:

– Своєю впертістю проти створення атомної бомби ви подібні Наполеону і робите таку ж помилку, яку він зробив стосовно ідеї пароплава.

І Сакс розповів Рузвельту історію з Наполеоном, яка викладена вище. Це дійсно подіяло на Рузвельта, і, повернувшись до свого ад'ютанта генерала Вотсона, він сказав:

– Поуп (англ. pop – татусь; кличка генерала «татусь Вотсон»), ця справа потребує дії.

Цих слів було досить, щоб запрацювали всілякі комісії конгресу, військового міністерства та уряду.

Ось історичний приклад того, як інколи, навіть незначна на

*перший погляд, подія може в умовах інших обставин відіграти ва-
гому роль.*

*Шляхи та форми творчості дійсно різноманітні. Але ще більш
різноманітні шляхи втілення ідей у життя. Тільки врахування всіх
обставин нашого часу та досвіду історії може позбавити від пов-
торення помилок.*

Послідовність процесу матеріалізації

Наукові ідеї творців нової техніки матеріалізуються у розробці і випуску нових машин. Творення нових машин, як правило, здійснюється крок за кроком в такій послідовності:

- виникнення науково-технічної ідеї;
- техніко-економічне обґрунтування необхідності втілення ідеї (розробки);
- технічне завдання на розробку;
- проектування;
- конструювання;
- виготовлення та випробування дослідного зразка (партії);
- організація серійного виробництва.

Технічне рішення на нову машину приймають на стадії проектування, коли з декількох варіантів виконання вибирають оптимальний. Після проектування, базуючись на прийнятому технічному рішенні, настає етап конструювання, протягом якого розробляють робочу документацію на машину.

У процесі конструювання здійснюється матеріалізація науково-технічних ідей, закладених у машину при проектуванні. Тому цей етап є достатньо трудомістким і дуже відповідальним. На етапі конструювання можна втратити всі переваги прогресивного технічного рішення, тобто нівелювати результати проектування; а можна і суттєво посилити технічне рішення шляхом грамотного професійного ставлення до дорученої справи. При конструюванні вибирають матеріал, визначають геометричні розміри і встановлюють технічні вимоги до кожної деталі. Це дає можливість всі складові частини і дослідний зразок працездатної машини виготовити на існуючій технологічній базі.

Критерії працездатності

Працездатність – стан виробу, при якому він спроможний виконувати задані функції при збереженні значень параметрів у межах, визначених нормативною документацією.

Тобто це такий стан машини або довільної її складальної одиниці

чи деталі, при якому вона здатна виконувати задані функції з параметрами згідно вимог технічної документації із збереженням міцності, незмінності форми і розмірів, стійкості проти спрацьовування, потрібної жорсткості, тепло- і вібростійкості й таке інше. Показники, порушення яких спричинює вихід з ладу машини чи деталі, називають критеріями працездатності.

Виділимо деякі базові критерії працездатності:

- міцність (статична, динамічна, тривала, контактна, втомна);
- механічна жорсткість;
- стійкість (корозійна, зносостійкість, теплостійкість, холодостійкість, радіаційна, абразивна, ерозійна, кавітаційна, вібростійкість);
- електромагнітні властивості (електрична міцність, магнітна сприйнятливість, електричний опір, електропровідність, діелектрична сприйнятливість, діелектрична проникність);
- активність (хімічна, оптична та інші).

Тезисний зміст цих критеріїв формулюємо стосовно деталей машин, котрі є твердими тілами.

Статична міцність – здатність твердого тіла чинити опір статичним навантаженням без руйнування.

Динамічна міцність – здатність твердого тіла чинити опір динамічним навантаженням без руйнування.

Тривала міцність – здатність твердого тіла чинити опір повільному зростанню пластичних деформацій (повзучості) при силових впливах менших від тих, що спричиняють залишкову деформацію при випробуваннях на витривалість.

Контактна міцність – здатність малих ділянок поверхні твердого тіла чинити опір високим місцевим (локальним) напруженням.

Втомна міцність – здатність твердого тіла чинити опір багаторазовому (циклічному) навантаженню, яке призводить до прогресуючого руйнування тіла.

Механічна жорсткість – здатність пружного тіла чинити опір деформуванню від прикладеного зусилля.

Корозійна стійкість – здатність твердого тіла чинити опір впливу хімічно агресивного або активного середовища.

Зносостійкість – здатність твердих тіл чинити опір зношуванню в процесі тертя.

Теплостійкість – здатність твердого тіла зберігати експлуатаційні властивості при підвищеній температурі навколишнього середовища в діапазоні робочих температур.

Холодостійкість – здатність твердого тіла зберігати експлуатаційні властивості при мінусовій температурі навколишнього середовища.

Радіаційна стійкість – здатність твердого тіла протистояти радіаційному впливу, зберігаючи працездатність.

Абразивна стійкість – здатність твердого тіла чинити опір зношуванню під впливом абразиву.

Ерозійна стійкість – здатність твердого тіла чинити опір поступовому руйнуванню поверхні в потоці газу або рідини, а також імпульсному впливу механічного характеру або електричних розрядів.

Кавітаційна стійкість – здатність твердого тіла протистояти руйнуванню під дією гідравлічних мікроударів, що виникають при численному закриванні кавітаційних бульбашок.

Вібростійкість – здатність виробу виконувати свої функції та зберігати свої параметри в межах нормативних значень в умовах впливу вібрацій.

Електрична міцність – здатність твердого тіла, виготовленого з діелектрика, чинити опір електричному пробою.

Магнітна сприйнятливість – здатність твердого тіла намагнічуватись у зовнішньому магнітному полі.

Електричний опір – здатність твердого тіла чинити опір проходженню електричного струму.

Електропровідність – здатність твердого тіла проводити електричний струм.

Діелектрична сприйнятливість – здатність твердого тіла, виготовленого з діелектрика, поляризуватись в електричному полі.

Діелектрична проникність – здатність твердого тіла, виготовленого з діелектрика, змінювати нормальну складову напруги електричного поля при переході з вакууму в задане середовище.

Хімічна активність – здатність твердого тіла вступати в хімічну взаємодію з навколишнім середовищем чи спряженими деталями.

Оптична активність – здатність твердого тіла викликати поворот площини поляризації світла, що проходить крізь нього.

Критерії працездатності можуть характеризуватись різними технічними параметрами залежно від умов впливу фактору збурення. Наприклад, статична міцність може визначатись залежно від виду деформацій: розтяг, стиск, згин, кручення, зріз, зминання тощо або сукупністю перелічених деформацій.

Кінцевим результатом матеріалізації наукових ідей є забезпечення відповідних критеріїв працездатності деталей і машин загалом. Це досягається розробником шляхом надання відповідних форм і розмірів, раціональним вибором матеріалів, методів їх обробки та зміцнення, раціональним компонуванням деталей та вузлів і тому подібне

При цьому розробники технічних систем не можуть обійтись без технічних розрахунків і підтвердження цих критеріїв.

Технічні розрахунки

При розробці машин технічним розрахункам піддаються всі відповідальні деталі. При цьому використовують такі види технічних розрахунків:

- геометричний (розрахунок розмірних ланцюгів, координат, зазорів);
- кінематичний (розрахунок переміщень, швидкостей, прискорень, передавальних чисел кінематичних ланцюгів та інші);
- динамічний (розрахунок навантажень деталей машин та їхніх змін у часі);
- розрахунки на міцність та жорсткість (визначення напружень та деформацій деталей машини при навантаженнях у робочих режимах);
- енергетичний (розрахунок витрат енергії, параметрів енергетичного балансу);
- техніко-економічний (розрахунок продуктивності, вартості, ефективності використання).

Основою для технічних розрахунків є критерії працездатності, які встановлюють виходячи з наступного:

- швидкості переміщення, темпи їх зміни в часі;
- характеру взаємодії спряжених деталей;
- діючого навантаження, спосіб його прикладення та характер зміни в часі;
- необхідної надійності, довговічності, безвідмовності, ремонтпридатності;
- технологічних наслідків виготовлення;
- можливості поломок та відказів і їх наслідків;
- навколишнього середовища, його фізичних параметрів;
- впливу на обслуговуючий персонал та навколишнє середовище;

В інженерній практиці розрахунки на міцність та жорсткість поділяють на проектні, які виконують у процесі конструювання деталі, та перевіірочні, які стосуються вже розробленої конструкції деталі.

Проектний розрахунок це визначення геометричних розмірів деталі з вибраного матеріалу, на основі допустимих значень технічних параметрів установлених критеріїв працездатності.

Проектний розрахунок у спрощеному вигляді виконують за алгоритмом

$$ГР \geq 3Д/[ТП], \quad (2.1)$$

де ГР – геометричний розмір твердого тіла (площа поперечного перерізу, довжина, ширина, периметр, об'єм, момент інерції, момент опору та інше);

ЗД – збурююча дія;

[ТП] – допустиме значення технічного параметра.

Перевірочний розрахунок – це визначення діючих значень технічних параметрів (ТП) розробленої конструкції деталі згідно з прийнятими критеріями працездатності.

Перевірочний розрахунок виконують виходячи із (2.1) за правилом

$$ТП = \frac{ЗД}{ГР} \leq [ТП] \quad (2.2)$$

Для деталей високого ступеня відповідальності або деталей складної форми з точно не встановленим характером навантаження доцільно проводити експериментальну перевірку розрахунків.

Використана література

1. *Конструирование машин. Справочно-методическое пособие в 2-х томах. Ред. Фролов К.В.* – М.: Машиностроение, 1994.
2. *Кузнецов Ю.М., Луців І.В., Дубиняк С.А. Теорія технічних систем.* – Київ-Тернопіль: 1997. – 310 с.
3. *Мала гірнича енциклопедія, т.1-3 / За редакцією В.С. Білецького.* – Донецьк: Донбас, 2007 – 2013. – 652 с.
4. *Машиностроение. Энциклопедия / ред. совет: К.В. Фролов (пред.) и др. МЗ8 М.: Машиностроение, 1994-2013. В 40 томах.*
5. *Половинкин А.И. Основы инженерного творчества.* – Москва: Машиностроение, 1988. – 368 с.
6. *Сопротивление материалов / Под ред. Акад. АН УССР Писаренко Г.С.* – 5-е изд., перераб. И доп. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1986. – 775 с.
7. *Флора В. Д. Принципи технічної творчості: Навчальний посібник.* – Запоріжжя: ЗНТУ, 2005. – 398 с.

3 ІНЖЕНЕРНА ТВОРЧІСТЬ

Процес творчості – це в кінцевому рахунку пошук єдності форми і змісту. Іноді при розв'язанні творчої задачі застосування традиційних методів проектування не дає нових цікавих рішень. Тому важлива активізація творчого пошуку в проектуванні, спрямована на розвиток творчого проектного мислення інженера або дизайнера і на інтенсифікацію самого процесу проектування.

Творчість не слід трактувати як результат особливого дару і виключності людини, осяяння зверху, ірраціональної інтуїції, екстра-сенсорного сприйняття, багатого, розвинутого уявлення або логічного мислення.

Творчість – це процес людської діяльності, в результаті якого створюються якісно нові матеріальні та духовні цінності. Творчість як процес створення нового виражає результат взірцевої, перетворюючої праці людини, яка невід'ємно пов'язана з його пізнавальною діяльністю і є відображенням об'єктивного світу в свідомості людини. В цьому зв'язку творчість слід розглядати, як процес складних об'єктивно-суб'єктивних відносин між творцями і об'єктами творчості, як єдність пізнання і перетворення.

Розрізняють наукову, науково-технічну і технічну творчість. Науково-технічну та технічну творчість, які не можуть бути чітко розмежовані, часто називають інженерною творчістю.

До творчості відносять також твори мистецтва.

Інженерна творчість пов'язана з пошуком нових ідей та створенням нових технічних рішень з використанням досягнень фундаментальних наук.

Пошук ідей – найбільш високий рівень творчої діяльності людини і поки що неформалізований, пов'язаний в основному з інтуїцією творця. Необхідно сміливо шукати нові ідеї, фантазувати, тому що вірогідність здійснення сміливих ідей більша, ніж обережних.

Підходи до інженерної творчості базуються на таких системних положеннях:

- при дослідженні об'єкта як системи опис його частини не має самостійного значення;
- специфіка об'єкта не вичерпується особливостями його складових частин, а пов'язана з характером взаємозв'язків між окремими частинами;
- один і той же досліджуваний об'єкт виступає як такий, що має різні характеристики, параметри, функції і структури;
- дослідження системи виявляється, як правило, невід'ємним від дослідження умов її функціонування;
- при дослідженні системи враховується залежність стану усієї

- системи від стану її частин і навпаки;
- аналіз тільки функціональної характеристики об'єкта досліджень може виявитися недостатнім;
- у випадку, коли джерело зміни стану системи знаходиться у самій системі, це створює передумови для її самокерування.

Інженер (конструктор або технолог) повинен бути не тільки фахівцем, який перебирає відомі варіанти, як дослідником і винахідником нових рішень, творцем і втілювачем нових ідей. При цьому дуже важлива роль інженерного (науково-технічного) прогнозування – передбачення і «пророцтво» розвитку технічних систем, конструкційних матеріалів, технологій. Слід передбачати як зміну зовнішніх факторів, новітніх потреб, так і якість та критерії ефективності технічних об'єктів.

Прогноз – це ймовірнісне судження про стан якого-небудь об'єкта, процесу або явища в певний момент часу в майбутньому; прогнозування – процес формування прогнозів.

Чільне місце займають науково-технічні прогнози. Їх принципи базуються на двох підходах до пояснення природи процесів науково-технічного розвитку: онтологічного і телеологічного.

Онтологія – філософське вчення про буття, у якому з'ясовують фундаментальні проблеми існування, розвитку сутнісного, найважливішого. Поняття «онтологія» не має однозначного тлумачення у філософії

Суть онтологічного підходу в тому, що процеси розвитку (поява наукових відкриттів, винаходів) розглядається як прояв саморозвиваючого динамічного процесу. Науково-технічний прогрес розглядається як реакція на можливості та проблеми, що виникають перед наукою й технікою.

Телеологія – філософське вчення, у якому всі процеси є реалізацією наперед визначеної мети. Телеологія не тотожна детермінізму, оскільки він декларує всі події наперед визначеними.

Телеологічний підхід полягає в тому, що науково-технічний прогрес розглядається як результат об'єктивного процесу, що встановлюється суспільною потребою.

Первинність зовнішніх впливів на науково-технічний прогрес допускає, що його темп і напрям можуть бути передбачені настільки, наскільки розвиток науки й техніки є наслідком зміни потреб або вимог, що накладаються зовні на систему досліджень та розробок.

Аналіз розвитку сучасних технічних систем показує, що він добре узгоджується з двома названими вище підходами. В одних випадках першопричиною розвитку є новий засіб, в других – нова

функція. Двоякість факторів, що спонукають процеси науково-технічного розвитку, слугує причиною наявності двох груп методів розробки прогнозів, які виходять із принципів прогнозування, відомих під назвами дослідницький і нормативний.

Дослідницький принцип базується на онтологічній, а нормативний – на телеологічній точці зору на природу процесів розвитку науки і техніки.

Дослідницьке прогнозування базується на тому, що шляхи та темпи розвитку об'єкта можна прогнозувати за припущення, що наука й техніка розвиваються, виходячи зі свої власних можливостей, під впливом своїх власних законів.

Нормативне прогнозування допускає наявність раніше поставленої мети (задачі, функції), для досягнення якої треба знайти відповідні технічні засоби та методи.

3.1 ТЕХНІЧНІ ПРОБЛЕМИ Й ЗАДАЧІ ТА ТЕХНІЧНІ ПРОТИРІЧЧЯ

Головною рушійною силою розвитку техніки є протиріччя між зростаючими потребами суспільства та можливостями сучасних технічних систем. Протиріччя призводять до виникнення технічних проблем.

Технічна проблема – відображення ситуації, яка виникає у процесі вивчення співвідношення між технічною потребою і наявними технічними можливостями. Тобто це накопичена негативна техніко-економічна ситуація, котра склалася у визначеній галузі та гальмує її розвиток. В основі проблеми є протиріччя між метою й умовами її досягнення.

Технічні проблеми викликають появу технічних задач.

Технічна задача – це вираження визначеної мети, для досягнення якої необхідні нові ідеї та оригінальне технічне рішення для отримання того чи іншого ефекту. Характеризується чітким формулюванням поставленої мети та потребує оперативного рішення.

В інженерній діяльності послідовно вирішуються такі складові технічних задач:

- вибір та пошук найбільш ефективного фізичного принципу дії (ФПД);
- вибір та пошук найбільш раціонального технічного рішення (ТР);
- визначення оптимальних значень параметрів заданого технічного рішення (ТР *opt*).

Іншими словами ми маємо ланцюг: $\text{ФПД} \rightarrow \text{ТР} \rightarrow \text{ТР opt}$.

Перші два різновиди задач не мають точних математичних

рішень і потребують застосування різних методів пошукового конструювання, які включають послідовність поступів, процедур та прийомів переробки великого обсягу інформації і не завжди дають найкращі рішення. Тільки для третього різновиду задач (а в останній час в ряді випадків і другого) використовують математичні методи оптимізації, які дають точне рішення.

В теорії технічних систем розглядають такі чотири характерні типи технічних задач при проектуванні техніки (табл. 3.1): аналіз, синтез, випробування, «чорна скринька».

Таблиця 3.1 – Типи технічних задач при проектуванні техніки

Тип задачі	Вихідні дані		
	Вхід, X	Об'єкт, Z	Вихід, Y
Аналіз	+	+	?
Синтез	+	?	+
Випробування	?	+	+
«Чорна скринька»	+	?	?

Задача аналізу – це коли задана структура об'єкта Z , відомий параметр вхідного сигналу X ; необхідно визначити характер функціонування системи, тобто параметр вихідного сигналу Y .

Задача синтезу – заданий характер функціонування, тобто відомий параметр вихідного сигналу Y та заданий параметр вхідного сигналу X ; необхідно визначити структуру об'єкта Z .

Задача випробування – це коли задана структура об'єкту Z , відомий параметр вихідного сигналу Y , необхідно визначити параметр вхідного сигналу X .

«Чорна скринька» – задано об'єкт Z , структура якого невідома, відомий параметр вхідного сигналу X ; необхідно визначити характер залежності вихідного сигналу Y від вхідного X , тобто функцію $Y=f(X)$, та структуру об'єкта Z .

Рішення технічних задач – важка невдячна справа, пов'язана з подоланням різного виду протиріч (перепон), які проявляються у невідповідності між різними вимогами, що пред'являються людиною до системи, і обмеженнями, що накладаються на неї законами природи, соціальними, юридичними, і економічними законами, рівнем розвитку науки і техніки, конкретними умовами застосування і таке інше.

Протиріччя можна поділити на три групи:

- адміністративні,
- технічні,
- фізичні.

Адміністративними протиріччями називають ті перепони, що заважають сформулювати технічну задачу. Вони на початку присутні у самому факті винахідницької або іншої технічної задачі. Це, перш за все, низька кваліфікація інженерних кадрів та негативне ставлення суспільства до нового (принцип Ле-Шательє: якщо на систему, що знаходиться в стані стійкої рівноваги здійснюється зовнішній вплив, що виводить її з цього стану, то рівновага зміщується в тому напрямку, при якому ефект зовнішнього впливу послаблюється). Адміністративні протиріччя характеризуються патовою ситуацією, тобто необхідно щось робити, але невідомо що та як.

Технічні протиріччя – це протиріччя між частинами та параметрами технічної системи, коли спроби змінити відомим способом одну частину або параметр технічної системи призводять до недопустимого погіршення іншої частини чи параметра.

Фізичними протиріччями називають взаємовиключні вимоги, що висувають до тієї чи іншої частини технічної системи. При фізичних протиріччях виникає парадокс.

Як правило, вивчення проблемної ситуації – це виявлення технічних протиріч. Основні напрями подолання технічних протиріч можуть бути такими:

- підвищення продуктивності творчої праці за рахунок сучасних методів пошуку технічних рішень;
- автоматизація проектування шляхом застосування сучасних систем автоматизованого проектування (САПР);
- автоматизація пошукового конструювання за рахунок САПР з елементами штучного інтелекту;
- машинне проектування.

При дослідженнях будь-якої проблеми та вирішенні задачі можна виділити декілька головних аспектів (дій):

- врахувати все, що необхідно і відкинути те, що не потрібно;
- «озвучити» однією мовою різні за фізичною природою явища і фактори;
- визначити, що означає «добре» і що «погано» для порівняння альтернатив;
- ввести раціональну ідеалізацію проблеми;
- знайти спосіб роз'єднання цілого на частини без втрати властивостей цілого;
- знайти спосіб об'єднання частин у ціле без втрати властивостей частини.

І як результат – знайти рішення задачі.

3.2 МЕТОДИ ІНЖЕНЕРНОГО ТВОРЕННЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

*системні методи; асоціативні методи; алгоритмічні методи;
принципи усунення технічних протиріч*

Рішення проблеми інтенсивного розвитку економіки висуває велику кількість інженерних задач, пов'язаних з економією трудових ресурсів, сировини, матеріалів, енергії, а також з підвищенням продуктивності, якості й технічного рівня виробів, скорочення ручної малокваліфікованої і монотонної праці тощо.

Це вимагає обов'язкового оволодіння інтенсивною технологією інженерного творення на підставі використання сучасних методів інженерної творчості, спеціально підготовленої інформації та програмного забезпечення обчислювальної техніки.

У XX столітті продуктивність праці зросла приблизно в 20 разів, а в конструюванні тільки на 40%. Тому очевидно, що при створенні нових технічних систем в XXI столітті широко вживаний метод «проб та помилок» стає все менш надійним, непродуктивним методом мислення й пошуку нових рішень. Він вступив у протиріччя з науково-технічним прогресом. Тому зараз потрібні нові методологічні підходи до розумової праці і її наукова організація.

Методологічну основу творчості складають такі два підходи: діалектичний підхід на основі найбільш загальних законів природи, суспільства і мислення та системний підхід, як єдиний напрямок в розвитку сучасного наукового пізнання.

Слід чітко визначити деякі поняття, які стосуються творчої діяльності людини: концепція, методологія, метод, методика, прийом.

Концепція – те чи інше розуміння явища, система поглядів.

Методологія – вчення про науковий метод взагалі і про методи окремих наук (методологія історії, методологія конструювання, методологія літератури...).

Методологія творчості все більше перетворюється в самостійну наукову дисципліну, як теорію, в якій можна виділити такі чотири рівня: філософський; загальнонауковий; конкретно науковий; методика і техніка наукового дослідження.

Метод – спосіб пізнання, дослідження явищ природи і суспільного життя (діалектичний, експериментальний, порівняльний...), прийом, система прийомів в якійсь діяльності (передові методи виробництва, метод навчання, метод дослідження...).

Методика – сукупність прийомів практичного виконання чогось (методика експерименту, методика наукового дослідження...), вчення про методи викладання тієї чи іншої науки.

Прийом – спосіб досягнення, здійснення чогось (прийом інверсії, прийом аналогій...).

На цей час в інженерній практиці розроблено багато методів активізації творчості, які умовно можна поділити на дві групи: евристичні методи технічної творчості (Евристика – від грец. знаходжу) та логічні методи пошукового конструювання, в яких переважають логічні правила аналізу, порівняння, узагальнення, класифікації.

Можлива інша, більш вживана класифікація методів:

- системні,
 - асоціативні,
 - алгоритмічні,
- а також їх комбінації.

Системні методи

У другій половині ХХ століття розроблено велику кількість різних системних методів пошуку технічних рішень. До найбільш сприятливих для проектування технологічного обладнання, інструментів, а також технологічних процесів можна віднести такі системні методи:

- морфологічного аналізу;
- матриць відкриття;
- функціонально-вартісний;
- організуючих понять;
- систематичної евристики та ін.

Вони побудовані за принципами логічної обробки інформації, мають загальногалузевий характер, можуть бути формалізовані частково або повністю і використовуються в людино-машинних програмах.

Стисло розглянемо згадані системні методи.

Метод морфологічного аналізу спрямований на послідовний перебір усіх можливих варіантів рішення.

Мета методу – системно досліджувати усі можливі варіанти рішення задач, які виходять із закономірностей будови (морфології) об'єкта вдосконалення (технічної системи).

Ідея методу – увійти в зону уяви, далеку від того, що лежить наяву.

Суть методу полягає в тому, що в технічній системі, яку удосконалюють, виділяють декілька характерних для неї структурних або функціональних морфологічних ознак, за кожною з котрих складають максимально повний табличний (матричний) перелік різних конкретних варіантів (альтернатив) технічного вираження використання цих ознак. Кожна ознака може характеризувати якийсь

конструктивний вузол системи, якусь її функцію, якийсь режим роботи створюваного об'єкту, тобто параметри або характеристики системи, від яких залежить рішення проблеми й досягнення основної мети.

Перебираючи всі можливі сполучення альтернативних варіантів виділених ознак, можна виявити нові варіанти рішення задачі, на які при простому переборі могли не звернути уваги.

Перевага методу морфологічного аналізу – його багатоваріантність, оскільки він дозволяє створити простір змін об'єкту (морфологічний ящик) і систематично його аналізувати з повним перебором множини різноманітних варіантів. До недоліків методу належить те, що поряд із реально можливими комбінаціями варіантів характеристик (ознак) морфологічна матриця (ящик) має велику кількість несумісних варіантів. Поки що не існує дієвого апарату вибору допустимих рішень з великої кількості можливих варіантів.

Область застосування методу – рішення технічних задач, які належать до об'єкта (технічної системи) в цілому при наявності повної інформації про нього і направлені на його вдосконалення.

Метод передбачає виконання п'яти послідовних етапів морфологічного аналізу:

1-й – точне формулювання задачі (проблеми), яка відображає основну вимогу до об'єкта.

При аналізі первинного формулювання завдання з'ясовують, що повинно бути вдосконалене, допрацьоване і таке інше, розглядають вимоги, що пред'являються до результату рішення задачі, виділяють з них головні і пов'язують їх з тими елементами об'єкту, які забезпечують його виконання. Нарешті, проводять уточнення формулювання завдання.

2-й – розділення об'єкту на функціональні елементи (ознаки).

Розділяють об'єкт на функціональні елементи, складають список всіх морфологічних ознак і вимог до цих елементів, тобто всіх важливих характеристик об'єкту, його параметрів, від яких залежить вирішення проблеми і досягнення основної мети.

3-й – побудова (складання) морфологічної моделі.

Виконують незалежний розгляд всіх елементів (ознак) і вибирають для кожного з них різні варіанти реалізації, тобто складають можливі варіанти по кожній характеристиці незалежно і, як результат, будують морфологічну модель (таблиці, скриньки, матриці).

4-й – синтез варіантів об'єкту.

Аналізують рішення, що виникають з морфологічної моделі, з визначенням цінності всіх отриманих варіантів, тобто проводять синтез варіантів об'єкту. Синтез варіанту рішення здійснюють,

вибираючи спочатку варіанти основних елементів, включаючи найістотніші ознаки, потім решту характеристик. Технічні вимоги окремо або в поєднанні одна з одною повинні задовольнятися підмножиною синтезованих варіантів в цілому. Розглядаються всі варіанти рішень, що виходять зі структури морфологічної таблиці (третій етап) При необхідності кількість варіантів обмежують виходячи з можливості опрацювання їх в прийнятний час. Це найбільш відповідальний етап методу.

5-й – вибір найбільш раціональних варіантів конкретних рішень.

Вибирають по заданому критерію два-три варіанти кращих рішень для детального конструктивного опрацювання за можливими способами: здійснення ранжування вимог за їх значимістю; здійснення ранжування варіантів рішення з урахуванням числа вимог, що задовольняються, і їх значимістю; використання експертних оцінок або інших методів неформальних процедур. Знаходження оптимального варіанту може здійснюватися за кращим значенням найбільш важливого показника технічної системи.

Морфологічний аналіз створює основу для системного мислення в категоріях основних структурних ознак, принципів і параметрів, що й забезпечує високу ефективність його застосування. Це впорядкований спосіб дослідження, що дозволяє домогтися систематичного огляду всіх можливих рішень даної великомасштабної проблеми. Метод спрямовує мислення таким чином, що генерується нова інформація, що стосується тих комбінацій, які при безсистемній діяльності не беруться до уваги.

Метод «матриць відкриття», як і в морфологічному методі, має за мету систематично досліджувати всі можливі варіанти, виходячи із закономірностей будови (морфології) заданої до вдосконалення системи; вибрати та вивчити поле можливих рішень.

Суть методу полягає в побудові квадратної матриці, в якій перетинаються рядки і стовпці (горизонталі і вертикалі) значень характеристик. Ряди можуть бути як впорядкованими за певним принципом, так і не впорядкованими. Характеристики можуть бути виражені як кількісно, так і якісно. На відміну від морфологічного аналізу, частина вибраних характеристик може стосуватися не системи, а умов її експлуатації.

Основні етапи методу «матриць відкриття»:

- складання переліку елементів, властивостей, об'єктів, фактів, ідей тощо;
- встановлення поля аналізу – визначення проблеми в найбільш загальній і абстрактній формі, її уточнення, побудова структури поля (розміщення характеристик вибраних елементів,

- властивостей і таке інше по рядах і стовпцях матриці);
- визначення перетину рядків і стовпців, виявлення можливих комбінацій, тобто з'ясовують поле можливих рішень, що є метою дослідження;
- розгляд всіх можливих рішень з метою виявлення нових допустимих комбінацій;
- вивчення вибраних комбінацій і вибір раціональних рішень.

Можливі і більш диференційовані оцінки рішень. Деякі етапи можуть проводитися одночасно.

Як правило, метод «матриць відкриття» не дає закінчених рішень і слугує для систематизації наявного матеріалу та визначення відправних пунктів подальшого дослідження за рахунок визначення наявних резервів. Комбінації характеристик сприяють плідним асоціаціям, які раніше не були замічені, та наступній постановці проблеми.

Функціонально-вартісний метод – це комплексне системне дослідження вартості й характеристик продукції. Направлений на оптимізацію співвідношення між якістю, корисністю функцій об'єкта і витратами на їх реалізацію на всіх етапах його життєвого циклу. Об'єктами методу функціонально-вартісного аналізу є організаційні та управлінські процеси і структури; якість продукції; конструкція виробів; технологічний процес тощо.

Цей метод широко використовується в машинобудуванні, електротехнічній та електронній промисловості, коли це пов'язано із системністю методу, який полягає в дослідженні об'єкта:

- як єдиного цілого;
- як системи, що включає в себе інші складові елементи, які знаходяться у взаємодії;
- як частини іншої системи, більш високого рівня, в якій аналізований об'єкт знаходиться з іншими підсистемами в певній взаємодії.

Завдяки системності, функціонально-вартісний аналіз дозволяє виявити в кожному об'єкті причинно-наслідкові зв'язки між якістю, характеристиками і витратами.

Функціонально-вартісний аналіз продукції може проводитися, коли необхідно вирішити завдання розробки та постановки на виробництво нових виробів, підвищити техніко-економічний рівень продукції, модернізувати або модифікувати продукцію і так далі. При проектуванні здійснюється пошук оптимальних технічних рішень, встановлення граничних нормативів витрат з виготовлення розроблюваних об'єктів та визначення найбільш ефективних умов їх використання. На етапі виробництва для вдосконалення об'єктів

виявляються зайві витрати, визначаються диспропорції між значимістю функцій для споживача і витратами на їх забезпечення, здійснюється пошук резервів для зниження собівартості і підвищення якості виробів.

Організація роботи за функціонально-вартісним методом передбачає виконання кількох етапів (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Етапи реалізації функціонально-вартісного методу

Етап	Зміст етапу
1. Підготовчий	Створення організаційних передумов методу. Визначення об'єкта аналізу з відповідним техніко-економічним обґрунтуванням. Підбір та затвердження дослідницької групи. Визначення цілей, завдань, глибини опрацювання об'єкта. Розробка та затвердження плану-графіка проведення робіт.
2. Інформаційний	Збір, обробка і аналіз інформації про об'єкт. Побудова структурної моделі об'єкта.
3. Аналітичний	Визначення складу об'єкта й виявлення зв'язків між елементами. Виявлення і формулювання функцій. Класифікація функцій. Побудова функціональної моделі об'єкта. Оцінка рівня виконання функцій. Визначення функціональної, проблемної і витратної залежності об'єкта. Побудова суміщеної (функціонально-структурної) моделі об'єкта. Формулювання завдань вдосконалення об'єкта.
4. Творчий	Пошук ідей і варіантів рішень щодо вдосконалення об'єкта. Обробка й систематизація результатів проведення творчих нарад. Підготовка матеріалів для оцінки отриманих результатів.

Продовження таблиці 3.2

Етап	Зміст етапу
5. Дослідницький	Оцінка, обговорення та відбір раціональних варіантів спільно з фахівцями функціональних служб. Комерційна оцінка варіантів рішень відповідно до обраних на даному етапі критеріїв. Оцінка реальних пропозицій.
6. Рекомендаційний	Розгляд пропозицій відповідними службами підприємства. Проведення техніко-економічних розрахунків. Прийняття рекомендацій про прийнятність пропозицій.
7. Впроваджувальний	Складання план-графіка впровадження рекомендацій. Передача затверджених рекомендацій відповідним службам.

Результатом функціонально-вартісного аналізу повинно бути зниження витрат на одиницю корисного ефекту. Це досягається шляхом скорочення витрат при підвищенні споживчих властивостей продукції та збереженні заданого рівня якості.

Метод організуючих понять включає: встановлення конструктивних морфологічних ознак технічної системи, тобто організуючих понять, визначення їх відмінних ознак; класифікацію організуючих понять за ступенем їх важливості; проведення наочних зіставлень організуючих понять з їх особливими ознаками і розробку на цій основі керівного матеріалу для можливих рішень, що відповідають обраним обмеженням; оцінку ознак у відношенні їх відповідності спеціальним вимогам задачі; комбінацію ознак різних організуючих понять в рішенні.

Кожна комбінація відмінних ознак (по одному від кожного організуючого поняття) дає один варіант рішення. Для полегшення пошуку раціональних комбінацій пропонуються прийоми, аналогічні прийомам складання морфологічних матриць.

Метод систематичної евристики призначений для вирішення завдань, для яких відсутні чітка математична постановка або ефективні методи чисельного рішення. Специфіка цих завдань полягає в ієрархічності переробки інформації, диференціюванні інформації процесів, ідентифікуванні елементарних інформаційних операцій. На підставі цього ученим удалося, використовуючи не чисельні методи опису таких операцій, скласти моделі процесу пошуку і переробки інформації у вигляді евристичних програм. Останні являють собою сукупність приписів для орієнтування мислення розробника

у певному напрямку залежно від інформаційної ситуації.

Інформаційні завдання в області науки й техніки згруповані у шести стовпцях бібліотеки евристичних програм. Стовпці у свою чергу складаються з клітинок, в яких зібрані програми, що дають можливість проводити обробку інформації залежно від етапу рішення проблеми. Рішення будь-якої задачі в науково-технічній галузі за методом систематичної евристики починається з верхньої програми, яка являє собою загальну схему розв'язання задачі. Залежно від класу завдання визначаються необхідні процеси обробки інформації.

Метод систематичної евристики пропонує близькі до оптимальних стратегію і тактику вирішення творчих завдань на основі останніх досягнень у галузі кібернетики, евристичного програмування, інформатики та психології. Однак метод систематичної евристики не замінює знань розробника, а лише передбачає їх повне і найбільш доцільне використання. Тому необхідний гнучкий підхід до інструментів цього методу.

Асоціативні методи

Якщо на технічну систему або об'єкт, що вдосконалюється, перенести ознаки інших, випадково обраних об'єктів, то число неочікуваних варіантів різко зростає. Тобто, для описання асоціативних методів, використовуються такі поняття, як асоціація, метафора та аналогія.

Асоціація (лат. *associo* – з'єдную, зв'язую) – зв'язок, який виникає при певних умовах між двома або більше психологічними утвореннями.

Метафора (грец. *μεταφορά* – перенесення) – перенесення властивостей одного предмета (явища) на другий на підставі загальної для обох ознаки.

Аналогія (грец. *αναλογία* – відповідність) – подібність, схожість у цілому відмінних предметів, явищ за певними властивостями, ознаками або відношеннями. Серед аналогій розрізняють такі: пряма, емпатія, символічна, фантастична.

До асоціативних належать такі методи:

- мозкового штурму;
- фокальних об'єктів;
- гірлянд випадковостей і асоціацій;
- контрольних запитань;
- синектики та інші.

Розглянемо дещо детальніше вказані методи.

Метод мозкового штурму (автор – А. Осборн, 1953р., США). Багато потенційно хороших ідей гине через побоювання критики. Для

усунення цієї перепони запропоновано метод мозкового штурму. Сутність його полягає в тому, що процеси генерації ідей і їх оцінки розділяють у часі. Колектив інженерів розбивають на дві групи: генераторів ідей та експертів.

Задача групи генераторів ідей полягає в тому, щоб висловити якомога більше ідей, а групи експертів (опонентів) – в наступній оцінці цих ідей і відбору прийнятних для втілення у виробництво. Іноді до штурму залучають неспеціалістів, які можуть завдяки необізнаності зробити «божевільні» пропозиції, які в свою чергу стимулюють уяву фахівців.

Основні правила мозкового штурму такі:

- у групу генераторів ідей включають фахівців різних спеціальностей (4...12 чол.);
- основна мета групи – висловити максимальну кількість ідей;
- на формулювання кожної окремої ідеї відводять 2...3 хв;
- при генерації ідей критика заборонена;
- штурм продовжується 20...40 хв;
- у групу експертів включають фахівців з питання, яке розглядається; вони виконують аналіз ідей, при якому необхідно з кожної ідеї отримати раціональне зерно;
- якщо задача не вирішена, штурм повторюють з іншим складом групи генераторів ідей.

Область застосування методу – вирішення організаційних і технічних задач, що стосуються об'єкта в цілому. Методика мозкового штурму добре відома і вже декілька десятиліть успішно застосовується в самих різних сферах людської життєдіяльності.

Метод фокальних об'єктів (винайдений американським ученим Ч. Вайтінгом). Об'єкт, який удосконалюють за допомогою цього методу, називають фокальним, оскільки його ставлять у центр уваги (фокус). Суть його ґрунтується на перенесенні ознак випадково вибраних об'єктів на фокальний об'єкт, унаслідок чого отримують незвичні поєднання, котрі дають змогу подолати психологічну інерцію.

Послідовність застосування методу фокальних об'єктів така:

- вибір фокального об'єкта;
- вибір 3...4 випадкових допоміжних об'єктів, абсолютно не пов'язаних з нашим головним фокальним (вибирають, як правило, навмання зі словника, каталогу, технічного журналу тощо);
- складання списків характерних ознак (властивостей) випадкових об'єктів (не менше 3-х характеристик, але чим більше – тим краще);
- генерування ідей шляхом приєднання до фокального об'єкта ознак випадкових об'єктів;

- розвиток сполучень шляхом вільних асоціацій (вибір кращих варіантів для подальшого опрацювання, знаходження до них певних асоціацій);
- оцінка отриманих ідей і відбір корисних рішень на предмет реалізації ідей.

Якщо в результаті ми отримали варіант, який нас повністю влаштовує – значить, метод фокальних об'єктів спрацював і можна приступати до реалізації ідеї. Якщо ідеї немає – можна спробувати ще раз, заново пройшовши всі кроки вже з іншими об'єктами.

Не обов'язково, щоб усі обрані об'єкти якимось чином підходили до об'єкта, що вдосконалюється, але, використовуючи цей метод, можна вибрати велику кількість найрізноманітніших варіантів. Слід відзначити, що цей метод більше підходить для тих випадків, коли треба модернізувати, удосконалити вже існуючий об'єкт або подати нову ідею, певний напрям у розвитку технічної думки. Цей метод не дає стовідсоткового розв'язку певної конструкторської або винахідницької задачі.

Метод гірлянд випадковостей і асоціацій (автор – Генріх Язеповіч Буш). Він є розвитком методу фокальних об'єктів та допомагає знайти велику кількість підказок для нових ідей шляхом утворення асоціацій. Від методу фокальних об'єктів він відрізняється тим, що дає велике число поєднань фокального об'єкта з випадковими.

Алгоритм цього методу визначає такий порядок дій:

- визначення синонімів об'єкта;
- довільний вибір випадкових об'єктів (утворення гірлянди зі слів, вибраних навмання);
- утворення комбінацій з елементів гірлянд синонімів і випадкових об'єктів, тобто кожний синонім поєднують із кожним випадковим об'єктом;
- складання табличного переліку ознак випадкових об'єктів;
- генерування ідей шляхом почергового приєднання до технічного об'єкта і його синонімів ознак випадково обраних об'єктів (з таблиці);
- генерування гірлянд асоціацій (по черзі з ознак випадкових об'єктів, внесених у таблицю на четвертому кроці, генеруються гірлянди вільних асоціацій);
- генерування нових ідей (до елементів гірлянди синонімів технічного об'єкта по черзі намагаються приєднати елементи гірлянди асоціацій);
- вибір альтернативи (на цьому кроці вирішують питання: продовжувати генерування гірлянд асоціацій чи їх уже досить для відбору корисних ідей);
- оцінювання й вибір раціональних варіантів ідей (відкидання явно

нераціональних варіантів; відбір найбільш оригінальних сумнівної корисності, які приваблюють несподіванкою; встановлення прийнятих);

- відбір кращого варіанта з раціональних (здійснюється різними прийомами; досить простим і ефективним є метод експертного оцінювання).

Метод контрольних запитань. Його суть полягає у використанні при пошуку розв'язань творчих завдань списку спеціально підготовлених запитань. Цей метод можна застосовувати в комбінації з методом мозкового штурму для генерування ідей, формулювання відповідей. У практиці набули поширення універсальні опитувальники, складені Л. Осборном, Д. Пірсоном, Д. Пойя та іншими. Їх досить багато, але по своїй суті вони є своєрідними шпаргалками для винахідників.

Метод синектики. Одним із найбільш ефективних методів стимулювання творчої діяльності є синектика. Автор методу синектики В. Гордон створив у 1960 р. фірму «Сінектікс» (США). Ця фірма співпрацює з найбільшими промисловими фірмами, корпораціями та вищими навчальними закладами, навчаючи синектичної атаки інженерів і студентів. В її основу покладено принцип класичного мозкового штурму, який здійснює професійна група або група фахівців суміжних професій, яка від одного штурму до іншого накопичує досвід вирішення завдань.

Варто відзначити, що на відміну від мозкового штурму, в синектиці дозволена критика. Ну і, звичайно, головною особливістю є суть методу синектики – це використання порівнянь і аналогій. Орієнтуючи свій гнучкий розум на розглядувану проблему, група синектиків при обговоренні використовує чотири типи аналогій:

- пряма аналогія (це будь-яка схожість, що має шукані елементи в системах або об'єктах, які вирішують подібні завдання, тобто, як вирішуються завдання, схожі на дане);
- суб'єктивна чи особиста аналогія (спроба увійти в образ даного в задачі об'єкта і намагатися міркувати з його точки зору, дозволити собі розглянути такі нюанси досліджуваної проблеми, які, в силу відсталості людського мислення, не можуть бути побачені і відчуті за допомогою простих роздумів);
- символічна аналогія (коротке формулювання визначення суті проблеми (завдання) використовуючи метафори і різноманітні порівняння);
- фантастична аналогія (уява об'єктів, що розглядаються, у відриві від існуючих фізичних законів і бачення їх такими, якими хотіли б їх бачити, незважаючи на реальність, тобто уява як це завдання вирішили б казкові персонажі).

Метод синектики застосовується в невеликій групі (5...7 учасників). Інші умови застосування методу (правила ведення дискусії, професійний і соціальний склад групи й інше) відповідають умовам, існуючим при організації класичного мозкового штурму.

Синектичний процес включає в себе три фази:

- оголошується проблема, з'ясовується зміст проблеми, ефективні взаємозв'язки, можливе нове формулювання проблеми;
- відчужується зміст проблеми; за допомогою певної техніки відчуження (прямі, особисті та символічні аналогії) група віддаляється від проблеми, тобто свідомо абстрагується від обставин справи;
- формуються підходи до вирішення проблеми; поняття, які у кінці процесу відчуження зіставляються з постановкою проблеми, з цього виробляються ідеї для вирішення проблеми.

Модель організації мозкового штурму методом класичної синектики така:

- формування групи та ознайомлення її учасників з проблемою провідним керівником;
- синектичне засідання групи;
- розгляд та відбір ідей і пропозицій провідним керівником;
- повторне синектичне засідання;
- повторний розгляд ідей і пропозицій керівником.

Під час синектичних засідань ведучий повинен повністю контролювати хід процесу, постійно втручаючись у дискусію.

Алгоритмічні методи

Ці методи відносяться до програмних методів рішення задач пошуку нових технічних рішень. Основними серед них є вепольний аналіз, узагальнений евристичний метод, алгоритм рішення винахідницьких задач (АРВЗ).

Вепольний аналіз. В 1974 році російські автори Г. С. Альтушуллер, І. Б. Флікштейн та А. Г. Шахматова запропонували цей метод, який став одним із складових теорії рішення винахідницьких задач. Ця назва – «Веполь» склалася із поєднання слів «речовина» (російською «*вещество*»), як узагальнюючий елемент та «поле», що впливає на неї. Разом із зв'язками та взаємодією між речовиною та полем утворюється структурна модель технічної системи.

Таким чином, змінивши речовину або поле, можна надати технічному об'єкту нові властивості. Навіть їх неповний перелік дає уяву про дуже широкий діапазон варіантів поєднання «речовини-поля».

Відомо багато полів, які використовуються винахідниками. Їх в теорії вирішення винахідницьких задач групують наступним чином:

- механічне поле: прості механічні зусилля і переміщення в різних

напрямках, тиск, інерційні, гравітаційні, відцентрові сили, вібрації, удари, аеро- та гідродинамічні ефекти тощо;

- акустичне поле, яке продовжує дію механічного: коливання звукові, ультразвук, інфразвук, стоячі хвилі, резонансні коливання;
- теплове поле: нагрів, охолодження;
- хімічне поле (взаємодія) – протікання різних хімічних реакцій;
- електричне поле;
- магнітне поле.

При цьому вважається що цей перелік слід доповнити явищами біотехнології та біохімії.

Групування речовин, яке використовується винахідниками, для прикладу, таке:

- речовини з фазовими переходами (наприклад легкорозчинні, легкогорючі, екзотермічні, ендотермічні, з ефектом Кюрі, з ефектом пам'яті форми тощо);
- звичайно дешеві речовини (пустота, піна, повітря, вода, сипучі речовини, відходи тощо);
- інші речовини (феромагнетики, капілярно-пористі матеріали, люмінофори, речовини з вираженим запахом та смаком тощо).

Як переконаний Альтшуллер, «тепер в руках винахідника так багато важелів, що будь-яка задача може бути рішена спрямовано з оптимальним вибором рішення».

Узагальнений евристичний метод пошуку нових технічних рішень запропонований О. І. Половінкіним. Мета методу – знаходження рішення творчих інженерних задач шляхом використання лінійної послідовності приписів, призначених для обробки інформації. Суть методу полягає в постановці та вирішенні задач технічної творчості шляхом застосування розповсюджених інформаційних баз, процедур обробки інформації та порядку їх виконання. Порядок дій такий: використання інформаційної бази; підготовка та опрацювання інформації; пошук нових, більш ефективних технічних рішень.

Основні етапи й процедури узагальненого методу.

Етап 1. Попередня постановка задачі. Формулювання функції розроблювальної технічної системи.

Процедури, що виконуються:

- 1.1. Формулювання функції технічного виробу (системи) на якісному рівні.
- 1.2. Формулювання функції виробу на кількісному рівні.
- 1.3. Вибір існуючих виробів, що у найбільшій мірі задовольняють сформульовані функції.
- 1.4. Складання списку недоліків існуючих виробів.
- 1.5. Складання попереднього формулювання задачі.

1.6. Формулювання задачі без спеціальних термінів.

Етап 2. Вивчення й аналіз задачі.

Процедури, що виконуються:

2.1. Складання дерева конструктивної еволюції розглянутого класу технічних виробів (систем).

2.2. Виявлення тенденцій розвитку розглянутого класу виробів.

2.3. Збір і вивчення інформації щодо прогнозу розвитку розглянутого класу виробів.

2.4. Визначення основних факторів, що мають вирішальний вплив на розвиток розглянутого і провідного класів виробу.

2.5. Визначення можливості посилення окремих характеристик функції.

2.6. Проведення ранжирування недоліків з точок зору ступеня важливості й труднощів їхнього усунення.

2.7. Виявлення причин виникнення недоліків в існуючому технічному виробі.

2.8. Вивчення можливості комбінування цілей рішення задачі (для виділення взаємопідсилюючих, взаємосуперечливих і взаємозалежних цілей).

2.9. Перевірка реальності постановки задачі на сучасному рівні розвитку науки, техніки й виробництва.

2.10. Вивчення умов досягнення цілей і виділення сприятливих і несприятливих факторів, що сприяють або заважають досягненню цілей.

2.11. Побудова ієрархічної структури технічного виробу (системи) і встановлення зв'язків між елементами розглянутого виробу й інших суміжних об'єктів.

2.12. Перевірка можливості задоволення потреби шляхом внесення змін у суміжні об'єкти.

2.13. Оцінка ступеня актуальності поставленої задачі у цей час й у доступному для огляду майбутньому.

2.14. Створення уявлення щодо гранично можливого технічного рішення розглянутого класу виробів.

Етап 3. Уточнення й деталізація постановки задачі. Включення в список вимог експлуатаційних, конструктивних, технологічних, ремонтних, економічних й інших вимог з їхньою якісною оцінкою.

Процедури, що виконуються:

3.1. Складання списку вимог до існуючих технічних виробів, що найбільш задовольняють сформульованій функції.

3.2. Складання списку вимог до розроблювального технічного виробу.

3.3. Порівняння списку вимог з показниками провідного класу технічного виробу.

3.4. Виділення вимог, які свідомо не можна міняти при вирішенні задачі.

3.5. Виявлення шляхом аналізу й експертних оцінок помилкових вимог і виключення їх зі списку.

3.6. Виділення головних вимог до розроблювального виробу.

3.7. Виділення нових вимог, які не мали місця в існуючих близьких технічних виробках.

3.8. Визначення вхідних і вихідних параметрів розроблювального технічного виробу.

3.9. Виявлення функціональних зв'язків між вхідними й вихідними параметрами.

3.10. Виявлення протиріччя поліпшення виробу. Графічне зображення протиріччя поліпшення.

3.11. Вибір найбільш важливих для вирішення задачі й важкоусувних протиріччя поліпшення.

Етап 4. Пошук технічних ідей, рішень і фізичних принципів дії. Синтез розширеної множини нових технічних і фізичних принципів дії, з яких необхідно вибрати найкраще рішення.

Процедури, що виконуються:

4.1. Перетворення у бажане технічне рішення найбільш близьких рішень існуючих технічних виробів.

4.2. Перетворення в бажане технічне рішення кращих світових зразків.

4.3. Перетворення в бажане рішення гранично досконалого технічного виробу.

4.4. Перетворення в бажане технічне рішення прогнозованих конструктивних рішень.

4.5. Перетворення в бажане рішення аналогічних рішень із провідного класу технічного виробу.

4.6. Перетворення в бажане рішення старих практично використовуваних виробів або у свій час відкинутих.

4.7. Змінення вищестоящої по ієрархії системи.

4.8. Рішення задачі шляхом усунення причин виникнення недоліків прототипів.

4.9. Використання методів морфологічних таблиць.

4.10. Формулювання нових фізичних принципів дії технічного виробу (системи) і її основних елементів.

4.11. Використання методу гірлянд асоціацій і метафор.

Етап 5. Вибір найкращих технічних рішень. Різнобічний аналіз й оцінка всіх знайдених технічних рішень.

Процедури, що виконуються:

5.1. Перевірка отриманих рішень на фізичну й технологічну

здійсненість.

5.2. Перевірка рішень на їхню відповідність основним вимогам.

5.3. Класифікація варіантів технічних рішень по фізичному принципу дії, основним конструктивним, технологічним, експлуатаційним й іншим ознакам для проведення групової обробки рішень.

5.4. Вибір найбільш економічних варіантів, що дозволяють вирішувати задачу при мінімальних витратах: матеріалів, експлуатаційних, технологічних і тому подібне.

5.5. Вибір технічних рішень, які за основними показниками не нижче кращих світових зразків.

5.6. Вибір технічних рішень, у яких найбільша частка стандартних вузлів і деталей.

5.7. Вибір рішень, що найбільш повно усувають головні протиріччя поліпшення технічного виробу або найбільш повно реалізують сформульовану функцію, головні цілі й вимоги.

5.8. Вибір рішень, що вимагають мінімальної або значної зміни в суміжних технічних виробках.

Етап 6. Доробка обраних технічних рішень. Детальна проробка технічних рішень, їхнє подальше поліпшення, експериментальна й дослідна перевірка.

Процедури, що виконуються:

6.1. Перевірка найкращих рішень на їхню відповідність повному списку вимог.

6.2. Перетворення неприпустимих рішень у припустимі.

6.3. Визначення можливих змін у суміжних технічних виробках усього комплексу, що включає розроблювальний виріб.

6.4. Визначення оптимальних значень основних параметрів найкращих технічних виробів.

6.5. Ранжирування найкращих рішень по комплексу критеріїв якості.

6.6. Розробка технічних креслеників, проведення експериментальної й дослідної перевірки для найкращих рішень.

6.7. Виявлення недоліків у технічних рішеннях після експериментальної перевірки.

Етап 7. Аналіз техніко-економічних показників знайдених рішень й оцінка перспектив їхнього впровадження.

Процедури, що виконуються:

7.1. Оцінка очікуваного ефекту від використання одержаних технічних рішень.

7.2. Оцінка перспективності знайдених рішень.

7.3. Визначення області практичного застосування й ринків збуту.

7.4. Оцінка очікуваного економічного ефекту залежно від обсягів

реалізації нових технічних виробів.

7.5. Складання заявок на винаходи.

Алгоритм розв'язання винахідницьких задач.

Цей метод, автором якого є Г. С. Альтшуллер, має багато модифікацій, залежно від року їх появи.

Під алгоритмом розуміють комплекс послідовно виконуючих дій (кроків, етапів), направлених на вирішення винахідницької задачі.

Суть методу полягає в тому, що задача розбивається на декілька стадій, які виконують у певному порядку. Наприклад, *АПВЗ-71*, структурна схема якого показана на рис. 3.1, має 6 стадій, кожна з яких має певні кроки:

1. Вибір задачі – 6 кроків;
2. Уточнення умов задачі – 5 кроків;
3. Аналітична – 8 кроків;
4. Попередня оцінка знайденої ідеї – 6 кроків;
5. Оперативна – 9 кроків;
6. Синтетична – 3 кроки.

Виконання кроків регламентовано конкретними питаннями і рекомендаціями.

Розглянемо крок за кроком кожну із заявлених стадій *АПВЗ-71* зображених на рисунку 3.1.

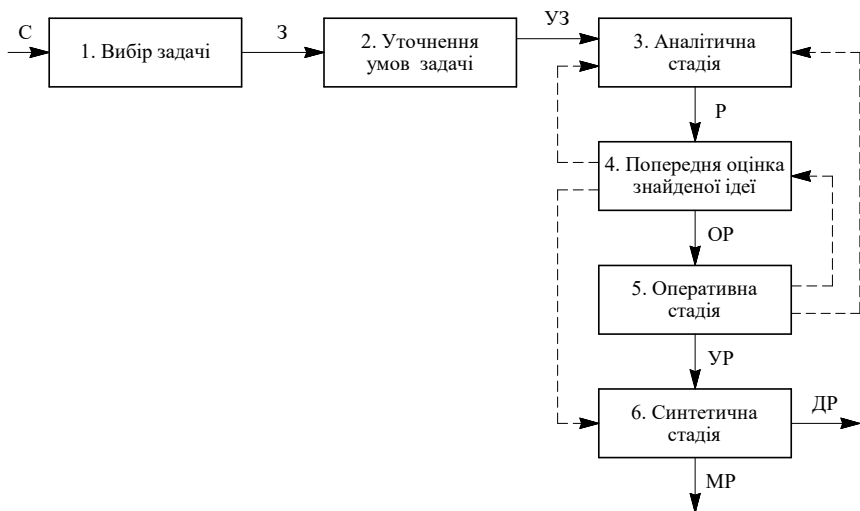


Рисунок 3.1 – Структурна схема *АПВЗ-71*

С – ситуація; *З* – задача; *УЗ* – уточнена задача; *Р* – рішення; *ОР* – оцінка рішення; *УР* – удосконалене рішення; *ДР* – додаткове рішення; *МР* – метод рішення

Стадія 1. Вибір задачі.

Перший крок визначає кінцеву мету вирішення задачі (яка технічна мета вирішення задачі; які характеристики об'єкта слід змінити, а які свідомо змінювати не можна; яка економічна мета вирішення задачі та які допустимі витрати; який головний техніко-економічний показник слід покращити?).

Другий крок полягає в перевірці обхідного шляху. Припустимо, що задача принципово не вирішується; яку іншу, більш загальну задачу треба вирішити, щоб отримати необхідний кінцевий результат?

На *третьому кроці* визначається, вирішення якої задачі доцільніше – початкової чи обхідної? Для цього слід порівняти початкову задачу з тенденціями розвитку заданої та провідної галузей техніки; аналогічно порівняти обхідну задачу. За результатами порівнянь зіставити початкову задачу з обхідною та зробити вибір.

Четвертий крок полягає у визначенні необхідних кількісних показників.

На *п'ятому кроці* вводиться у визначені кількісні показники «поправка на час».

Шостий крок – уточнення вимог, які зумовлені конкретними умовами та в яких планується реалізовувати винахід; врахування особливостей впровадження, зокрема допустимий ступінь складності; врахування планованих масштабів використання.

Стадія 2. Уточнення умов задачі.

Перший крок уточнює задачу, використовуючи патентну літературу та виявляючи, як вирішуються задачі, близькі заданій, за патентними даними та в провідних галузях; як вирішуються задачі, зворотні поставленій.

Другий крок передбачає використання оператора *РЧВ* – розмір, час, вартість. Оператор *РЧВ* запропоновано Г.С. Альтшуллером в 50-х роках ХХ століття. Використовується в різних видах інженерної творчості при вирішенні технічних задач. За його допомогою можна отримати незвичайні напрями рішень, несподівані ідеї. Мета застосування оператора *РЧВ* – зменшити психологічну інерцію шляхом розумової зміни параметрів об'єкта. Це дозволяє поглянути на об'єкт по-новому, побачити його властивості та можливості, на які раніше не звертали увагу. При цьому подумки перебудовуємо певні умови задачі, наприклад:

- змінюємо розмір об'єкта від заданої величини до нуля;
- змінюємо розмір об'єкта від заданої величини до нескінченності;
- змінюємо тривалість процесу (момент виконання процесу, швидкість протікання процесу, швидкість переміщення

об'єкта тощо) від заданої величини до нуля;

- змінюємо тривалість процесу (момент виконання процесу, швидкість протікання процесу, швидкість переміщення об'єкту тощо) від заданої величини до нескінченності;
- змінюємо вартість (допустимі витрати) об'єкта або процесу від заданої величини до нуля;
- змінюємо вартість (допустимі витрати) об'єкта або процесу від заданої величини до нескінченності й аналізуємо можливе вирішення проблеми за нових умов, тобто ставимо запитання: який тепер буде алгоритм розв'язування?

Третій крок вимагає викласти умови задачі (не використовуючи спеціальних термінів і не вказуючи, що саме слід придумати, винайти, створити) у формі тез двома фразами, в яких необхідно вказати систему з елементами, який елемент і за якої умови дає небажаний ефект.

На *четвертому* кроці переписуємо елементи, вказані в попередньому третьому кроці, подаємо у вигляді таблиці з позначенням: які елементи можна переналагоджувати за умовами задачі, а які важко піддаються зміні.

П'ятий крок полягає у виборі такого елемента із систематизованих на четвертому кроці, який найбільшою мірою піддається зміні, переналагодженню тощо.

Стадія 3. Аналітична.

На *першому кроці* формують ідеальний кінцевий результат за формою: об'єкт (визначений у попередній стадії) → що він робить → як робить → коли робить → при яких обов'язкових умовах (обмеженнях, вимогах).

Другий крок полягає в уявленні ідеального кінцевого результату (ІКР), наприклад у вигляді умовних рисунків, що відображають суть «було» і «стало», при цьому рисунок «стало» повинен відповідати словесному формулюванню ІКР.

Третій крок є логічним продовженням другого. На рисунку «стало» знаходять елемент об'єкта (визначеного на першому кроці) і виділяють ту його частину, яка не може здійснювати необхідну дію при заданих умовах. Виділяють цю частину штрихуванням, іншим кольором тощо.

Четвертий крок. Шукають відповідь на питання: чому ця частина сама не може виконати необхідну дію?; що ми хочемо від виділеної частини об'єкта?; що перешкоджає виділеній частині самій здійснити необхідну дію?; у чому суперечність між цими питаннями?

П'ятий крок. Продовжується пошук відповідей на питання: за

яких умов ця частина зможе виконувати необхідну дію, якими властивостями для цього вона повинна володіти? При цьому не зважають на те, наскільки здійснення бажана властивість і як її досягнути.

На *шостому кроці* визначається, що потрібно зробити, щоб виділена частина об'єкта набула властивостей, зазначених у попередньому п'ятому кроці.

На *сьомому кроці* формулюється спосіб, який може бути практично реалізований. Якщо таких способів декілька, то їх нумеруємо, поставивши на перше місце найперспективніший.

Восьмий крок – це визначення схеми пристрою для реалізації вибраного найбільш перспективного способу.

Стадія 4. Попередня оцінка знайденої ідеї.

На перших чотирьох кроках в якості оцінки ідеї аналізують відповіді на характерні питання.

Перший крок. Що покращується і що погіршується при використанні пропонованого пристрою або способу? Що досягається і при цьому ускладнюється та стає дорожчим.

Другий крок. Чи можна, змінюючи пропонований пристрій чи спосіб, запобігти виявленому погіршенню? При цьому зарисовуємо схему видозміненого пристрою чи способу.

Третій крок. Конкретизуємо, що погіршується у цьому випадку.

На *четвертому кроці* порівнюємо виграш та програш. Чого більше і чому? Якщо виграшу більше програшу (хоча б у перспективі), переходять до синтетичної стадії. Якщо програшу більше виграшу, то повертаємось на початок третьої, аналітичної, стадії. Записують на тому ж аркуші хід повторного аналізу та його результат.

П'ятий крок. Якщо тепер виграшу більше, переходять до шостої, синтетичної, стадії *АРВЗ*. Якщо повторний аналіз не дав нових результатів, вертаються до четвертого кроку другої стадії (уточнення умов задачі), перевіряють таблицю.

Шостий крок: беруть з таблиці інший елемент системи і заново проводять аналіз. Записують хід аналізу на тому ж аркуші.

Якщо немає задовільного рішення після цієї стадії, переходять до наступної, п'ятої стадії – оперативної.

Стадія 5. Оперативна.

На цій стадії використовується розроблена Альтшуллером, автором методу, таблиця (фрагмент якої наведено нижче (табл. 3.3)) усунення технічних протиріч за принципами, поданими в наступному підрозділі.

Таблиця 3.3 – Таблиця усунення протиріч (фрагмент)*

Параметри, які необхідно змінити за умовами задачі**	Показники, що недопустимо погіршуються за використання відомих способів							
	...	Довжина рухомого об'єкта	...	Енергія, що витрачається рухомих об'єктом	...	Втрата часу	...	Надійність
Вага рухомого об'єкту	...	15, 8, 29, 34	...	35, 12, 34, 31	...	10, 35, 20, 28	...	3, 11, 1, 27
...	...	...	...	...	...	...	...	...
Швидкість	...	13, 14, 8	...	8, 15, 35, 38	...	—	...	11, 35, 27, 28
Сила	...	17, 19, 9, 36	...	19, 17, 10	...	10, 37, 36	...	3, 25, 13, 21
...	...	...	...	...	...	...	...	...
Міцність	...	1, 15, 8, 35	...	19, 35, 10	...	29, 3, 28, 10	...	11, 3
...	...	...	...	...	...	...	...	...
Примітки: * Таблиця (див. Петров В. История развития алгоритма решения изобретательских задач – АРИЗ. Информационные материалы. Изд. 2-е, испр. и доп. – Тель-Авив, 2008 – 196 с.[7]) створена для більш ефективної організації використання прийомів, в якій по вертикалі розташовуються характеристики технічних систем, які за умовами завдання необхідно поліпшити, а по горизонталі – характеристики, які при цьому неприпустимо погіршуються. На перетині граф таблиці вказані номери принципів, які з найбільшою ймовірністю можуть усунути виникле технічне протиріччя ** Перелік універсальних параметрів запропонованих у повній таблиці: вага, довжина, площа, об'єм рухомого та нерухомого об'єкта, швидкість, сила, напруга чи тиск, форма, стійкість складу об'єкта, міцність, тривалість дії рухомого чи нерухомого об'єкта, температура, освітленість, енергія, що витрачається рухомих або нерухомим об'єктом, потужність, витрати енергії, речовини, інформації, часу, кількість речовини, надійність, точність вимірів, точність виготовлення, шкідливі фактори що діють на об'єкт або генеруються об'єктом, зручність виготовлення, зручність експлуатації, зручність ремонту, адаптація та універсальність, складність пристрою, складність контролю та вимірювань, міра автоматизації, продуктивність.								

На першому кроці з таблиці у вертикальній колонці вибирається показник (з переліку запропонованих автором АРВЗ універсальних параметрів), який треба покращити за умовами задачі.

Другим кроком визначається: як покращити цей показник, використовуючи відомі шляхи та незважаючи на можливий програв; який показник недопустимо погіршується, якщо використовувати відомі шляхи.

Третій крок. Вибирається з горизонтального ряду таблиці той показник, що недопустимо погіршується.

Четвертий крок. Вибираються з таблиці прийоми усунення технічних протиріч, порядковий номер яких вказаний у клітинках на перетині визначених вище рядка і колонки.

На *п'ятому кроці* перевіряється застосування цих прийомів (прийоми усунення протиріч наведені нижче). Якщо задача вирішена, повертаються до четвертої стадії *АРВЗ*, оцінюють знайдену ідею та переходять до шостої частини *АРВЗ*. Якщо задача не вирішена, роблять такі кроки на цій стадії.

Шостий крок. Перевіряють можливість застосування фізичних ефектів та явищ.

Сьомий крок. Перевіряють можливість зміни у часі. При цьому шукають відповіді на такі додаткові питання: чи можна усунути протиріччя «розтягнувши» або «стиснувши» в часі виконувани за умовами задачі дію?; чи можна виконати потрібну дію «раніше», до початку роботи об'єкта або «пізніше», після закінчення його роботи? Якщо дія неперервна, – перевіряється можливість переходу до періодичної дії або навпаки.

На *восьмому кроці* вивчають як вирішуються аналогічні задачі в природі (живій, вимерлих або сучасних організмів) і, відповідно, які поправки слід внести, враховуючи застосовні в техніці матеріали.

На *дев'ятому кроці* перевіряється можливість внесення змін в об'єкти, що працюють сумісно із заданими. Визначають, в яку надсистему входить об'єкт та як вирішити задачу, змінюючи надсистему без зміни самої системи.

Якщо задача не вирішена, повертаються до третього кроку першої стадії. Якщо ж задача вирішена – то повертаються до четвертої стадії *АРВЗ*; оцінюють знайдену ідею та переходять до шостої частини *АРВЗ*.

Стадія 6. Синтетична.

Перший крок. Визначають, як повинна бути змінена надсистема, в яку входить змінена система.

Другий крок. Перевіряють, чи може змінена система використовуватися по-новому.

Третій крок. Використовують знайдену технічну ідею (або ідею зворотну знайдений) при вирішенні інших технічних задач.

Принципи усунення технічних протиріч

В основі продуктивного інженерного творення технічних систем лежить ефективне усунення виниклих технічних протиріч (табл. 3.3) за принципами, наведеними далі.

Принцип дроблення: розділити об'єкт на незалежні частини; зробити його розбірним; збільшити ступінь дроблення об'єкта.

Принцип винесення: відокремити від об'єкта частину чи властивість, що «заважає», або навпаки виділити єдино потрібну частину чи властивість.

Принцип місцевої якості: перейти від однорідної структури об'єкта (або зовнішнього середовища, зовнішнього впливу) до неоднорідної; різні частини об'єкта повинні мати (виконувати) різні функції; кожна частина об'єкта повинна перебувати в найбільш сприятливих для її роботи умовах.

Принцип асиметрії: перейти від симетричної форми об'єкта до асиметричної; якщо об'єкт асиметричний, збільшити ступінь асиметрії.

Принцип об'єднання: з'єднати однорідні або призначені для суміжних операцій об'єкти; об'єднати у часі однорідні або суміжні операції.

Принцип універсальності: об'єкт виконує кілька різних функцій, завдяки чому відпадає необхідність в інших об'єктах.

Принцип «матрьошки»: один об'єкт розміщений всередині іншого, який, у свою чергу, знаходиться всередині третього і так далі; один об'єкт проходить крізь порожнини в іншому об'єкті.

Принцип противаги: компенсувати вагу об'єкта з'єднанням з іншими, що володіють підйомною силою; компенсувати вагу об'єкта взаємодією з середовищем (за рахунок аеро- і гідродинамічних сил тощо).

Принцип попередньої протидії: заздалегідь створити в об'єкті напруження, що протидіятимуть неприпустимим або небажаним робочим напруженням.

Принцип попереднього дії: заздалегідь виконати необхідну дію (повністю або хоча б частково); заздалегідь розставити об'єкти так, щоб вони могли вступити в дію без витрати часу на доставку і з найбільш зручного місця.

Принцип «заздалегідь підкладеної подушки»: компенсувати відносно невисоку надійність об'єкта заздалегідь підготовленими аварійними засобами.

Принцип еквіпотенціальності: змінити умови роботи так, щоб не доводилося піднімати чи опускати об'єкт.

Принцип «навпаки»: замість дії, що диктується умовами задачі, здійснити зворотну дію; зробити рухому частину об'єкта або зовнішнього середовища нерухомою, а нерухому – рухомою; перевернути об'єкт «вверх ногами» чи вивернути його.

Принцип сфероїдальності: перейти від прямолінійних частин до криволінійних, від плоских поверхонь до сферичних, від кубічних до кульових конструкцій; використовувати ролики, кульки, спіралі;

перейти від прямолінійного руху до обертового, використовувати відцентрову силу.

Принцип динамічності: характеристики об'єкта (або зовнішнього середовища) повинні змінюватися так, щоб бути оптимальними на кожному етапі роботи; розділити об'єкт на частини, що здатні переміщатися відносно один одного.

Принцип часткового або надмірного ефекту: якщо важко отримати 100% необхідного ефекту, треба отримати «дещо менше» або «дещо більше», завдання при цьому може істотно спроститися.

Принцип переходу в інший вимір: труднощі, пов'язані з рухом (або положенням) об'єкта по лінії, усуваються, якщо об'єкт набуває можливість переміщатися у двох вимірах (тобто на площині). Отже завдання, пов'язані з рухом (або розміщенням) об'єктів в одній площині, усуваються при переході до простору в трьох вимірах; використовувати багатоповерхову компоновку об'єктів замість одноповерхової; нахилити об'єкт або покласти його «на бік»; використовувати зворотний бік заданої площини; використовувати оптичні потоки, що падають на сусідню площину або зворотний бік заданої.

Принцип використання механічних коливань: привести об'єкт до коливального руху; якщо такий рух вже відбувається, збільшити його частоту (аж до ультразвукової); використовувати резонансну частоту; застосувати замість механічних вібраторів п'єзовібратори; використовувати ультразвукові коливання в поєднанні з електромагнітними полями.

Принцип періодичної дії: перейти від безперервної дії до періодичної (імпульсної); якщо дія вже здійснюється періодично, змінити періодичність; використовувати паузи між імпульсами для іншої дії.

Принцип неперервності корисної дії: здійснювати роботу безперервно (всі частини об'єкта повинні весь час працювати з повним навантаженням); усунути холості та проміжні ходи.

Принцип проскоку: вести процес або окремі його етапи (наприклад, шкідливі або небезпечні) на великій швидкості.

Принцип «перетворити шкоду на користь»: використовувати шкідливі фактори (зокрема, шкідливий вплив середовища) для отримання позитивного ефекту; усунути шкідливий чинник за рахунок складання з іншими шкідливими факторами; посилити шкідливий чинник до такої міри, щоб він перестав бути шкідливим.

Принцип зворотного зв'язку: ввести зворотний зв'язок; якщо зворотний зв'язок є, змінити його.

Принцип «посередника»: використовувати проміжний об'єкт, що переносить або передає дію; тимчасово приєднати до об'єкта інший (легговидалений) об'єкт.

Принцип самообслуговування: об'єкт повинен сам себе обслуговувати, виконуючи допоміжні та ремонтні операції; використовувати відходи (енергії, речовини).

Принцип копіювання: замість недоступного, складного, дорогого, незручного або крихкого об'єкта, використовувати його спрощені і дешеві копії; замінити об'єкт або систему об'єктів їх оптичними копіями (зображеннями). Використовувати при цьому зміну масштабу (збільшити або зменшити копії); якщо використовуються видимі оптичні копії, перейти до копій інфрачервоних або ультрафіолетових.

Принцип дешевої недовговічності натомість високої довговічності: замінити дорогий об'єкт набором дешевих об'єктів, при цьому поступитись деякими якостями (наприклад, довговічністю).

Принцип заміни механічної схеми: замінити механічну систему оптичною, акустичною; використовувати електричні, магнітні й електромагнітні поля для взаємодії з об'єктом; перейти від нерухомих полів до рухомих, від фіксованих – до змінних у часі, від неструктурованих – до структурованих; використовувати поля в поєднанні з феромагнітними частинками.

Принцип використання пневмо- і гідроконструкцій: замість твердих частин об'єкта використовувати газоподібні та рідкі: надувні та гідронаповнюючі, повітряну подушку, гідростатичні і гідрореактивні.

Принцип використання гнучких оболонок і тонких плівок: замість звичайних конструкцій використовувати гнучкі оболонки і тонкі плівки; ізолювати об'єкт від зовнішнього середовища за допомогою гнучких оболонок і тонких плівок.

Принцип застосування пористих матеріалів: виконати об'єкт пористим або використовувати додаткові пористі елементи (вставки, покриття); якщо об'єкт вже виконаний пористим, попередньо заповнити пори якоюсь речовиною.

Принцип зміни забарвлення: змінити забарвлення об'єкта або зовнішнього середовища; змінити міру прозорості об'єкта або зовнішнього середовища; для спостереження за об'єктами, які погано видно, використовувати фарбуючі добавки, мічені атоми і таке інше.

Принцип однорідності: об'єкти, які взаємодіють з заданим, повинні бути зроблені з того ж матеріалу (або близького йому за властивостями).

Принцип відкидання і регенерації частин: виконавши своє призначення, частина об'єкта або та, що стала непотрібною, повинна бути відкинута (розчинена, випарувана і так далі) чи видозмінена безпосередньо в ході роботи; витрачені в процесі роботи частини об'єкта повинні бути відновлені безпосередньо в ході роботи.

Принцип зміни фізико-хімічних параметрів об'єкта: змінити агрегатний стан об'єкта; змінити концентрацію або консистенцію; змінити ступінь гнучкості; змінити температуру.

Принцип застосування фазових переходів: використовувати явища, що виникають при фазових переходах, наприклад, зміна об'єму, виділення або поглинання тепла і так далі.

Принцип застосування теплового розширення: використовувати теплове розширення (або стиснення) матеріалів; використовувати кілька матеріалів з різними коефіцієнтами теплового розширення.

Принцип застосування сильних окислювачів: замінити звичайне повітря збагаченим; замінити збагачене повітря киснем; впливати на повітря і кисень іонізуючим випромінюванням; використовувати озонований кисень; замінити озонований кисень (або іонізований) озоном.

Принцип застосування інертного середовища: замінити звичайне середовище інертним; вести процес у вакуумі.

Принцип застосування композиційних матеріалів: перейти від однорідних матеріалів до композиційних.

3.3 ІНЖЕНЕРНИЙ АНАЛІЗ

постановка задачі; передумови побудови моделей; отримання та обробка результатів; оптимізація результатів; представлення та подача результатів

Інженерний аналіз пов'язаний з використанням основних фізичних принципів для вирішення технічних задач з метою отримання за розумний проміжок часу прийнятних результатів.

«Правильне» рішення задачі інженерного аналізу «правильним» методом можливе лише за умови врахування обмежень, з якими стикається інженер, розв'язуючи задачу.

Неможливо знайти таку методику, яка була б придатною для всіх випадків. Адже методика розв'язання задачі – засіб, що мобілізує знання, але не замінює їх.

Процес інженерного аналізу включає такі основні етапи: постановка задачі; побудова моделі (аналітичної – застосування фізичних принципів або експериментальної – накопичення даних); отримання та обробка результатів (обчислення, оцінка, узагальнення та перевірка); оптимізація; представлення і подача результатів.

Постановка задачі

Постановка задачі полягає в тому, щоб перейти від невизначених загальних положень до конкретних питань, на які можна отримати відповідь. Ніякими хитрощами за допомогою математики не можна отримати відповідь, наприклад, на такі питання:

- чи буде система працювати?
- чи будуть параметри системи в достатній мірі відповідати заданим умовам?
- чи буде процес проходити при заданих температурах і так далі?

Зіткнувшись із такими питаннями якісного характеру, інженер зобов'язаний передусім перейти від них до конкретних питань, відповідь на які можна отримати шляхом інженерного аналізу. Творець повинен уміти розібратися у фізичному явищі настільки глибоко, щоб усвідомити його характерні риси. Він повинен перейти від загальних питань до питань, наприклад, такого характеру:

- якою буде вихідна потужність при заданій вхідній потужності?
- які розміри необхідно задати ланкам шарнірно-важільного механізму, щоб отримати задану траєкторію руху?
- які співвідношення між змінними, що характеризують роботу системи (наприклад, тиску, швидкості і температури)?

Корисно враховувати, що конкретно поставлене запитання повинно мати сенс, а відповідь на нього повинна містити інформацію, яка пов'язана із сформульованою задачею. Крім того, слід пам'ятати, що для отримання результату необхідно використовувати тільки наявні ресурси.

Наступним етапом, після того як задача визначена, на основі прийняття відповідних припущень створюється модель для вирішення конкретної технічної проблеми.

Передумови побудови моделей

Для вирішення технічних задач будують моделі реальних фізичних процесів, які лягають в основу створення машини і завжди пов'язані з компромісом за принципами взаємозалежності.

Дехто припускає, що інженерні рішення є точними. Але в абсолютному сенсі зовсім інша справа. Реальні фізичні явища, з якими мають справу інженери, дуже складні, і їх ніколи не можна проаналізувати точно і в повному обсязі. Тому інженерні моделі, які лягають в основу створення машини не є точними копіями реальних фізичних явищ.

Не існує якого-небудь набору правил, що дозволяють швидко приймати припущення при вирішенні інженерних задач. Розглянемо деякі припущення, які використовують в інженерній практиці при побудові моделей.

Припущення в інженерних задачах. Інженери мають справу з властивостями речовин, матеріалів та фізичних полів. Назвемо деякі з них: теплопровідність; питома теплоємність; динамічна та кінематична в'язкості; модуль пружності; густина; опір; ємність; індуктивність та інші. З метою скорочення обсягів робіт часто корисно вважати, що всі ці властивості незмінні, а коефіцієнти постійні. Але так практично ніколи не буває. Тому вдаються до умовної ідеалізації об'єкта, тобто до уявного конструювання об'єкта якого немає в дійсності. Наведемо приклади.

Ідеальний газ – газ, силами взаємодії між молекулами якого при розгляді задачі можна знехтувати. Стан ідеального газу описується рівнянням Клапейрона. Реальні гази близькі за своїми властивостями до ідеального, якщо вони суттєво розріджені.

Адіабатний процес – термодинамічний процес, при якому відсутній теплообмін між системою, яка здійснює процес, та навколишнім середовищем. Адіабатний процес може відбуватись у системі, яка оточена теплоізолюючою оболонкою. Наближено можна вважати адіабатним процесом такий, що протікає і без теплоізоляції системи, але якщо він проходить настільки швидко, що теплообмін між системою та навколишнім середовищем практично не встигає відбуватись.

Ідеально пружний матеріал – тіло здатне відновлювати свою початкову форму та розміри після усунення причин, що спричинили його деформацію.

У багатьох задачах опору матеріалів матеріал вважають абсолютно пружним, хоча насправді реальні тіла, хай у малій мірі, але не відповідають цьому твердженню. Ця гіпотеза дозволяє не враховувати малі залишкові деформації, що неминуче присутні в реальних матеріалах, та здійснювати теоретичні розрахунки міцності конструкцій з прийнятною точністю.

Ньютонівська рідина – рідина, в'язкість якої при ламінарній течії не залежить від швидкостей плину, а повністю визначається хімічною природою і станом (температура і тиск). Основне припущення, що характеризує ньютонівську рідину, таке: напруження пропорційне швидкості деформації (зазначимо, що поняття пружного твердого тіла базується на припущенні, що напруження пропорційне деформації). Коефіцієнт пропорційності називається в'язкістю, яка є функцією температури та, в меншій

мірі, тиску. Майже всі результати, що приводяться в спеціальній технічній літературі з механіки рідин, базуються на припущенні про ньютонівську рідину.

Разом з тим слід пам'ятати, що реально рідини не є ньютонівськими, точно так, як і немає ідеальних газів. Ці абстракції (ньютонівська рідина, ідеальний газ і таке інше) придумано людьми.

Зосереджені параметри. Часто зосереджені параметри приймаються в електротехніці та динаміці. Але маса не буває зосередженою в одній точці. В одних випадках такі припущення цілком справедливі, проте в інших це приводить до повної нісенітності в результатах.

Поряд із класичними допущеннями при розв'язанні конкретних технічних задач приймаються додаткові обґрунтовані гіпотези, які дозволяють побудувати модель заданої точності й отримати технічне рішення бажаної достовірності. Як правило, дослідник має певні теорії на тему, з якої ведеться дослідження. На основі цієї теорії пропонуються певні припущення або гіпотези. З урахуванням гіпотез прогнозуються конкретні дії, що перевіряється відповідними експериментами. Залежно від результатів експерименту, теорії, на яких гіпотези та прогнози були засновані, будуть підтверджуватися чи спростовуватися.

Точний аналіз даних з використанням стандартних статистичних методів у наукових дослідженнях має вирішальне значення для визначення обґрунтованості проведених досліджень.

Закони природи в інженерних задачах. При вирішенні інженерних задач слід надавати перевагу використанню основних законів природи, а не спеціальних математичних співвідношень, отриманих з більш загальних законів. Перший підхід є концептуальним, а другий формальним. Концептуальний підхід переважає, оскільки в цьому випадку можна більш глибоко пізнати свою задачу, більш повно зрозуміти фізичні закони та прийняті припущення.

Далі наведено деякі закони механічного руху (табл. 3.4), окремі фундаментальні закони класичної механіки, гідродинаміки та термодинаміки, які є базовими в діяльності інженера, творця нової техніки.

Таблиця 3.4 – Величини та закони механічного руху

	Поступальний рух	Обертовий рух
Величини		
Характеристика положення тіла	Довжина шляху, S	Кут повороту, φ
Величини, що характеризують поведінку тіла	Швидкість, v	Кутова швидкість, ω
	Прискорення, a	Кутове прискорення, ε
Зовнішня дія на тіло	Сила, F	Момент, T
Властивості тіла	Маса, m	Момент інерції, I
Закони, формули		
Базовий закон динаміки	Ньютона $F = ma$	Рівняння моментів $T = I\varepsilon$
Стан руху в певний момент	Лінійна швидкість $v = \Delta S / \Delta t$	Кутова швидкість $\omega = \Delta \varphi / \Delta t$
Зміна швидкості	Прискорення $a = \Delta v / \Delta t$	Кутове прискорення $\varepsilon = \Delta \omega / \Delta t$
Рівномірний рух	$S = vt$	$\varphi = \omega t$
Рівнозмінний рух	$v = v_0 + at$; $S = v_0 t + at^2 / 2$	$\omega = \omega_0 + \varepsilon t$ $\varphi = \omega_0 t + \varepsilon t^2 / 2$
Енергія рухомого тіла	$E = mv^2 / 2$	$E = I\omega^2 / 2$;

Загальне рівняння динаміки. У будь-який момент руху механічної системи з ідеальними зв'язками сума віртуальних робіт активних і реактивних сил та сил інерції на довільному можливому переміщенні системи рівна нулю

$$\sum_{k=1}^n \overline{F_k} \cdot \delta \overline{r_k} + \sum_{k=1}^n \overline{R_k} \cdot \delta \overline{r_k} + \sum_{k=1}^n \overline{\Phi_k} \cdot \delta \overline{r_k} = 0. \quad (3.1)$$

де $\sum_{k=1}^n \overline{F_k}$ – активні сили, $\sum_{k=1}^n \overline{R_k}$ – реакції зав'язків та $\sum_{k=1}^n \overline{\Phi_k}$ – сили інерції при довільному переміщенні системи $\delta \overline{r_k}$ відповідно.

Закон Бернуллі. Рівняння гідродинаміки, яке визначає взаємозв'язок між швидкістю течії v , тиском p та висотою h в певній точці ідеальної рідини

$$p + \rho gh + \rho v^2 / 2 = \text{const}. \quad (3.2)$$

Тут перша складова p – статичний тиск, друга ρgh – ваговий тиск (де ρ – густина рідини, g – прискорення вільного падіння), а третя $\rho v^2/2$ – динамічний тиск.

Перший закон термодинаміки. Кількість теплоти Q , що надається системі, витрачається на зміну внутрішньої енергії системи ΔU і на здійснення системою роботи A протидії зовнішнім силам.

$$Q = \Delta U + A. \quad (3.3)$$

Другий закон термодинаміки визначає напрямок протікання процесів у фізичній системі – від порядку до безладу. Існує багато різних формулювань другого закону термодинаміки, загалом еквівалентних між собою. Одне з перших формулювань другого закону термодинаміки: теплота ніколи не може переходити сама собою від тіл з нижчою температурою до тіл з вищою температурою. Тобто, самочинний перехід теплоти від менш нагрітого до більш нагрітого неможливий. Це означає, що для такого переходу теплоти потрібна затрата роботи зовнішнього джерела. Неможливо перетворити теплоту в роботу, не виконуючи ніякої іншої дії, крім охолодження системи.

Другий закон термодинаміки вказує на необоротність процесу перетворення однієї форми передачі енергії – роботи – у другу форму передачі енергії – теплоту. Він стверджує, що процес переходу впорядкованого руху тіла як цілого в неупорядкований рух його частинок є необоротним.

Третій закон термодинаміки. Якщо перший і другий закони термодинаміки були сформульовані як принципи неможливості двигунів першого і другого роду (вічних двигунів), то третій закон термодинаміки сформульований як принцип неможливості досягнення абсолютного нуля температур (*теорема Нернста*: ентропія прямує до нуля при абсолютному нулі температури).

З цього випливає, що ні шляхом відведення тепла (тобто охолодженням тіла), ні шляхом здійснення якої-небудь роботи поблизу абсолютного нуля знизити температуру тіла неможливо. Це й означає, що абсолютний нуль температури недосяжний.

Досвід показує, що, кажучи словами самого Нернста, «відповідно до результатів квантової теорії для кожного твердого тіла існує в околиці абсолютного нуля деякий температурний інтервал, в якому саме поняття температури практично втрачає сенс», або, простіше кажучи, в цьому температурному інтервалі властивості тіла (об'єм, теплове розширення, стисливість і так далі) не залежать від температури.

Тобто перший і другий закони термодинаміки сформульовані як

принципи неможливості двигунів першого і другого роду (вічних двигунів). Третій закон термодинаміки сформульований як принцип неможливості досягнення абсолютного нуля температур.

Одним з ефективних засобів пізнання і використання законів і закономірностей природи у творенні нової техніки є застосування теорії моделювання в інженерній творчості, основи якої подано в підрозділі 3.7.

Отримання та обробка результатів

Розв'язувати визначальне рівняння побудованої моделі можна аналітичним, графічним або чисельним методами, а також методом проб та помилок. Результатом є отримання величини шуканого чисельного результату або функціональної залежності. Отримана відповідь справедлива тільки в рамках цієї моделі.

Надалі передусім необхідно оцінити, якою мірою результат, отриманий за створеною моделлю, співпадає з фактичними даними. Окрім цього необхідно також дати оцінку, пов'язану з перевіркою відповідності отриманого результату до вихідної задачі.

Щоб вилучити максимальну вигоду з того, що вже зроблено, доцільно розглянути прийнятність отриманого конкретного рішення загалом. Узагальнення полягає в спробі використання отриманих результатів в інших аналогічних задачах за інших обставин.

Одним із основних етапів розв'язання інженерних задач є перевірка шуканого чисельного результату. Зупинимось на трьох загальноприйнятих видах перевірки.

1. Перевірка результатів арифметичних чи алгебраїчних операцій.
2. Перевірка результатів операцій вищої математики.
3. Перевірка результатів, виходячи із фізичного смислу.

Існує щонайменше три способи виконання перевірок результатів арифметичних та алгебраїчних дій: шляхом повторення послідовності операцій; зворотним шляхом послідовності операцій; застосування іншого способу отримання результату.

Перевірку результатів операцій вищої математики можна поділити на:

- перевірку шляхом повторення послідовності операцій;
- перевірку шляхом підстановки результату у вихідний вираз;
- перевірку шляхом застосування іншого способу отримання результату.

Останній вид перевірок, що виконуються при інженерному аналізі, називають перевіркою фізичного смислу результату. Є вагомій підстави не плутати фізичний смисл зі здоровим глуздом або загальною думкою.

Можна виділити ряд очевидних аспектів перевірки фізичного смислу результатів:

- передусім, і це найважливіше, перевірка, чи не перечить рівняння з погляду розмірностей;
- перевірка меж;
- перевірка тенденції зміни результату;
- перевірка коректності застосування законів;
- перевірка врахування в рівнянні всіх суттєвих факторів впливу.

Оптимізація результатів

Оптимальність – це властивість, при якій забезпечується найбільша відповідність даному заданим умовам і досягається критеріальний екстремум.

Отримати оптимальне рішення – це значить вибрати такий варіант конструкції машини, який мав би найбільші переваги при зведенні до мінімуму недоліків. Тобто мовиться про вибір найкращого варіанта, що найбільш повно задовольняє поставлену мету.

Вибір варіанта передбачає наявність критерію порівняння, що дає змогу визначити кращий із наявних варіантів. Критерій порівняння різних варіантів називається критерієм оптимізації. Кожній меті оптимального проектування відповідає певний критерій оптимізації.

Порівняння варіантів конструкції машини при проектуванні може здійснюватися за кількома критеріями одночасно. У такому разі мають бути багатокритеріальні задачі оптимального проектування.

Існує такий основний принцип оптимізації: оцінка доцільності об'єкта даного класу визначається ефективністю його функціонування у виборі більш високого класу.

У більшості випадків можна використовувати локальну або внутрішню оптимізацію окремих елементів чи складальних одиниць об'єкта, яка є корисною і для загальної оптимізації.

Оптимізація є одним із важливих етапів інженерного аналізу процесу творення нових об'єктів техніки, теоретичним основам якої присвячено наступний підрозділ 3.4 «Основи інженерної оптимізації».

Представлення та подача результатів

Коли результати отримано, робота ще не закінчена. Отримані результати слід повідомити іншим особам.

Результати майже завжди виражаються символічно. Звичайними символами є слова (як в письмовій так і в усній формі) і зображення (графіки, рисунки, ескізи і таке інше).

При обговоренні і вивченні процесу передачі інформації

зазвичай увага концентрується на властивостях окремих повідомлень.

Тому сформулюємо деякі правила ефективної подачі повідомлень:

- точно визначайте мету повідомлення;
- побудуйте повідомлення так, щоб воно відповідало характеру аудиторії;
- спосіб передачі повідомлення повинен бути найбільш ефективним (це лаконічність подачі та візуалізація інформації, застосування сучасних технічних засобів подачі інформації тощо);
- критично розгляньте свої попередні повідомлення;
- будьте хорошим слухачем.

При подачі письмових повідомлень слід виділити два аспекти. Перший – грамотність, а другий – компетентність його складання.

Грамотність – це безпомилковість використання граматики та правил правопису.

Під компетентністю розуміється вміння подати інформацію у чіткій та зрозумілій формі, логічній послідовності викласти думки, ідеї, докази й інші дані.

Інженер повинен вміти викладати суть отриманих ним результатів та рекомендацій у такій формі, щоб читач або слухач міг швидко та легко зрозуміти його.

3.4 ОСНОВИ ІНЖЕНЕРНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ

Теоретичні аспекти оптимізації; приклад оптимізації об'єкту

Проектування будь-якого виробу чи технічного об'єкта пов'язане з розв'язанням задач пошукового конструювання трьох типів.

Задачі першого типу – пошук і вибір найефективнішого фізичного принципу дії об'єкта для конкретних умов.

Задачі другого типу – пошук і вибір найраціональнішого технічного рішення для прийнятого фізичного принципу дії. Розв'язування таких задач є матеріалізацією фізичного принципу дії або технічної ідеї.

Задачі третього типу – визначення оптимальних параметрів прийнятого технічного рішення. При розв'язанні цих задач комбінують параметри до тих пір, поки не отримають їх оптимальні співвідношення.

Технічне рішення буде оптимальним, якщо для його реалізації вибрана оптимальна технічна ідея.

Проблема вибору найкращого конструктивного рішення, яка пов'язана із розв'язанням задач трьох зазначених типів, вирішується методами оптимізації. Для оптимізації конструкції і

режимів експлуатації технологічного обладнання широко використовуються математичні моделі машин та апаратів.

Теоретичні аспекти оптимізації

Процес оптимізації починається з вибору критерію оптимізації. Далі складається цільова функція, що є залежністю цього критерію від параметрів впливу. Задача оптимізації зводиться до знаходження екстремуму цільової функції. Сутність оптимізації полягає у розв'язанні компромісної задачі, коли одні параметри цільової функції збільшують значення критерію оптимізації, а інші зменшують.

Критерії оптимізації прийнято поділяти на:

- техніко-економічні;
- економічні;
- техніко-технологічні.

До *техніко-економічних критеріїв* належать такі параметри машин та апаратів, як продуктивність, довговічність, надійність та інші.

В якості *економічних критеріїв* оптимізації широко використовують питому вартість процесу; приведені розрахункові витрати; прибуток виробництва.

Питома вартість C_{Π} процесу, що відбувається, виражає відношення експлуатаційних витрат (сумарна величина енергетичних N та трудових L витрат за одиницю часу роботи) до продуктивності обладнання W .

Цільова функція цього критерію має такий вигляд

$$C_{\Pi} = (N + L)/W. \quad (3.4)$$

Приведені розрахункові витрати на одиницю продуктивності B враховують не лише експлуатаційні, але й капітальні витрати K , що потрібні для досягнення заданої продуктивності.

Цільова функція цього критерію має вигляд

$$B = (C + \varepsilon_n K)/W, \quad (3.5)$$

де C – собівартість продукції;

ε_n – нормативний коефіцієнт окупності капітальних витрат.

Прибуток виробництва Π включає в себе вартість експлуатаційних витрат $(N+L)$ та ціну сировини Π_0 і отриманого готового продукту Π_k , приведених до одиниці часу роботи обладнання t , тобто

$$\Pi = [\Pi_k W_k - \Pi_0 W_0 - (N + L)]/t, \quad (3.6)$$

де W_k, W_0 – продуктивність обладнання відповідно до готової продукції та сировини.

Група техніко-технологічних параметрів утворює характеристики кількості і якості продукту.

Формулювання задачі інженерної оптимізації передбачає:

По-перше, визначення критерію оптимізації, що характеризує якість й економічність об'єкта. Критеріями оптимізації можуть бути такі показники: маса, надійність, довговічність, коефіцієнт корисної дії, продуктивність, енергоспоживання, габарити, точність тощо.

По-друге, встановлення незалежних змінних параметрів оптимізації, що впливають на критерій оптимізації.

Таких параметрів оптимізації може бути декілька – $x_1, x_2, \dots, x_n$.

У деяких випадках зміна параметрів оптимізації допускається у певних межах, що визначаються призначенням об'єкта, технологією виготовлення, вимогами нормативної документації та іншими факторами. Накладені обмеження на параметри оптимізації об'єкта для виконання ним заданих функцій, називаються конструктивними. Призначення обмежень є важливим етапом постановки та подальшого розв'язування задач оптимального проектування. Неврахування деяких обмежень може призвести до неправильного результату, а надмірні обмеження можуть ускладнити розрахунок та звужити межі проектування.

По-третє, розробка математичної моделі, що відображає взаємозв'язок критерію оптимізації з її параметрами.

Постановка задачі оптимізації на цьому етапі зводиться до формалізованого опису критерію оптимізації через параметри оптимізації за допомогою математичної залежності

$$g = f(x) \equiv (x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (3.7)$$

Така залежність називається цільовою функцією.

Розв'язування задачі оптимізації об'єкта зводиться до визначення таких значень x_i параметрів оптимізації ($x_{opt.1}, x_{opt.2}, \dots, x_{opt.n}$), при яких задовольняються всі обмеження й цільова функція набуває екстремального (мінімального чи максимального значення):

$$f(x) \Rightarrow extremum. \quad (3.8)$$

Визначені в результаті розв'язання задачі значення $x_{opt.1}, x_{opt.2}, \dots, x_{opt.n}$ параметрів називаються оптимальними розв'язками.

На практиці часто виникають багатокритеріальні задачі оптимізації складних об'єктів, коли замість однієї цільової функції $f(x)$ задано декілька $f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)$. Формулювання таких задач досить складне, і вони можуть мати декілька постановок.

В одній із таких постановок потрібно оптимізувати один з критеріїв, припустимо, $f_1(x_i)$, причому решта критеріїв утримують у заданих межах $a_i \leq f_i(x) \leq b_i$, ($i = 2, 3, \dots, k$). У цій першій постановці йдеться про звичайну багатокритеріальну оптимізацію. Що ж до нерівностей, які обмежують інші критерії, то їх можна

розглядати як додаткові обмеження на припустиму множину M .

Друга постановка полягає в упорядкуванні заданої множини критеріїв та послідовній оптимізації за кожним із них. Інакше, якщо проводять оптимізацію за першим критерієм $f_1(x)$, то отримують певну множину M_1 , що знаходиться в межах множини M ($M \cup M_1$), на якій функція $f_1(x)$ набуває оптимального (екстремального) значення. Взявши за нову допустиму множину M_1 , проводять оптимізацію за другим критерієм та отримують у результаті нову допустиму множину M_2 ($M_1 \cup M_2$). Продовживши цей процес, отримуємо після оптимізації за критерієм $f_k(x)$ множину M_k , яка й буде кінцевим результатом багатокритеріальної оптимізації. Якщо на деякому кроці множина M_i зведеться до одної точки, процес оптимізації закінчується на цьому етапі. Зрозуміло, що як і у випадку однокритеріальної оптимізації, задача може взагалі не мати розв'язку.

Третя постановка застосовує процес зведення багатьох критеріїв до одного за рахунок введення апріорних вагових коефіцієнтів λ_i для кожного з критеріїв $f_i(x)$. В якості таких коефіцієнтів можуть бути вибрані будь-які дійсні числа. Їх значення вибирають, виходячи з інтуїтивного подання міри важливості різних критеріїв: більш важливі критерії одержують коефіцієнт з більшим значенням. Після встановлення вагових коефіцієнтів багатокритеріальна задача зводиться до однокритеріальної з цільовою функцією $f(x) = \lambda_1 f_1(x) + \dots + \lambda_k f_k(x)$. Нині розроблено багато методів розв'язання задач оптимізації при різних видах цільової функції, рівнянь зв'язку та обмежень, що накладаються на параметри оптимізації. Ці методи можна умовно розділити на дві групи:

- класичні (метод диференціального числення, метод множників Лагранжа, варіаційне числення);
- математичного програмування (методи лінійного та нелінійного програмування, динамічного програмування та інші).

Приклад оптимізації об'єкту

Оптимізація полягає у відшукуванні таких значень регульованих параметрів, які при накладенні обмежень дають екстремум цільової функції. Допускаючи, що цільова функція підлягає диференціюванню, можна знайти екстремум, взявши похідну.

Припустимо, наприклад, що необхідно виготовити циліндричний резервуар ємністю V , що має мінімальну площу A зовнішньої поверхні. Потрібно визначити мінімальну кількість листового матеріалу для виготовлення резервуара. Маємо однокритеріальну задачу оптимізації.

Розв'язання.

Критерієм оптимізації щодо умови задачі є площа зовнішньої поверхні резервуара, тобто

$$g_A = A. \quad (3.9)$$

Параметрами оптимізації, що визначають зовнішню поверхню резервуара є діаметр D та висота H резервуара.

Обмеження, що накладаються на параметри оптимізації:

$$V = \pi D^2 H / 4 - \text{рівняння зв'язку параметрів}; \quad (3.10)$$

$$D > 0; H < \infty - \text{конструктивне обмеження}. \quad (3.11)$$

Цільова функція заданої задачі оптимізації:

$$g_A = A = \pi D H + \pi D^2 / 2. \quad (3.12)$$

Тоді повна математична модель така:

$$\begin{aligned} g_A &= \pi D H + \pi D^2 / 2 \Rightarrow \min; \\ \pi D^2 H / 4 - V &= 0; \\ D &> 0; \\ H &< \infty. \end{aligned} \quad (3.13)$$

Розв'язування такої простої задачі можна виконати так:

Із рівняння зв'язку параметрів маємо

$$H = 4V / (\pi D^2). \quad (3.14)$$

Тоді цільова функція набуває вигляду

$$g_A = A = 4V / D + \pi D^2 / 2. \quad (3.15)$$

Умова мінімуму площі A поверхні резервуара

$$dA / dD = -4V / D^2 + \pi D = 0. \quad (3.16)$$

Із записаної умови маємо

$$D = \sqrt[3]{4V / \pi}. \quad (3.17)$$

Таким чином потрібна висота резервуара

$$H = \sqrt[3]{4V / \pi}. \quad (3.18)$$

Отже, для конструювання циліндричного резервуара із заданим об'ємом V треба прийняти

$$D = H = \sqrt[3]{4V / \pi}. \quad (3.19)$$

Тоді буде отримано мінімальну площу зовнішньої поверхні резервуара, а відповідно і його масу при решті рівних умовах (матеріал, товщина стінки тощо).

3.5 ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

*загальні відомості; альтернативи в інженерних рішеннях;
визначальні фактори в прийнятті рішень; порядок прийняття рішень*

Загальні відомості

Само по собі прийняття рішення є багатофакторним і складним процесом, який завершується компромісом. Прийняти правильне рішення – значить вибрати таку альтернативу з ряду можливих, завдяки якій із врахуванням всього розмаїття факторів (економічних, технічних, соціальних, екологічних і тому подібних) буде досягнутий оптимальний результат.

Задачею особи, яка приймає рішення, є пошук альтернатив, які дають оптимальний компроміс при врахуванні всіх розглянутих факторів.

У деяких випадках оптимальний компроміс можна знайти, звертаючись до наукових методів прийняття рішень, тобто використовуючи математичні методи оптимізації, теорію ймовірності, математичну статистику, теорію граничної корисності тощо. В інших випадках прийняття рішення є виключно складним питанням, яке носить суб'єктивний характер і припускає врахування людських факторів і суджень про цінності. Але найбільш часто при прийнятті рішень враховуються як кількісні, так і якісні фактори, що розглядаються одночасно.

Процес прийняття рішення, характеризують такі три основні риси.

Наявність мети. Необхідність прийняття рішення диктується присутністю певної мети, яку необхідно досягнути.

Наявність альтернативних ліній поведінки. Рішення приймаються в умовах, коли існує більше одного способу досягнення мети.

Врахування вагомих факторів. Рішення приймаються в умовах дії великої кількості факторів, які, проте, різні для різних альтернатив. Це фактори економічного, технічного, соціального, екологічного, особистісного та іншого роду.

Мета рішень полягає в досягненні високої ефективності промислового виробництва з позиції маркетингу шляхом об'єднання понять «ресурс», «ефективність» і «якість». Вона досягається раціональним проектуванням технічних систем, яке можна розглядати як задачу оптимізації деякої функції вартості виробу. І тут в нагоді можуть стати уже відомі нам принципи функціонально-вартісного

аналізу якості продукції – її функціональності, системності та економичності. Він є, на наш погляд, найбільш ефективним інструментом маркетингу, який може відповісти на питання: який товар виробляти?, які функції товар повинен виконувати?, з якими витратами товар виробляти?

Функціонально-вартісний аналіз дозволяє досліджувати всі фактори в процесі життя продукції, тобто з моменту її творення, до моменту споживання й утилізації, включаючи два основних фактори конкурентоспроможності: ціну і якість продукції. Такі можливості обумовлюють його актуальність, оскільки він виявляє джерела економії матеріалів і затрат праці, цілеспрямовано забезпечує необхідний рівень якості продукції при зниженні витрат на її виготовлення, а також сприяє створенню органічної єдності функціональних можливостей і ціни товару, тобто функціональну придатність товару запитам споживачів, що є суттю мети рішень.

Альтернативи в інженерних рішеннях

Як уже наголошувалося, прийняття рішення – це вибір однієї з можливих альтернатив, а складання переліку альтернатив є невід’ємною частиною творчого процесу.

Коли альтернативи чітко перелічені, задача більше не є неосязною. Тепер потрібно виконати конкретну задачу, тобто вибрати одну з перерахованих альтернатив. Але коли альтернативи не визначені, їх перелік неповний, а то і не продуманий, отже прийняти рішення неможливо. У випадку, коли у переліку присутня тільки одна альтернатива – не слід приймати рішення взагалі. Інколи оптимальним компромісом буде відкласти прийняття рішення, щоб мати більше часу для накопичення нових фактів для розширення переліку альтернатив.

Визначальні фактори в прийнятті рішень

При прийнятті інженерних рішень необхідно враховувати фактори, що впливають на кінцевий результат, поділивши їх на такі три групи.

1. Ресурсні.
2. Технічні.
3. Психологічні.

Ресурсні фактори. Під факторами, що пов’язані з ресурсами, розуміють фінанси та виробничі потужності в часі. Для їх оцінки треба дати відповідь на питання по суті справи.

Фінанси. Які будуть витрати та прибуток? Яку суму доцільно отримати у вигляді короткострокового кредиту і яку довгострокового? Чи є фінанси? Як розподілити фінанси між різними проектами? Які перспективи цієї галузі, компанії чи її структурного підрозділу?

Конкурентоздатність на середньо- чи довгострокову перспективу?

Обладнання, приміщення та засоби виробництва. Яке обладнання, приміщення та засоби виробництва потрібні? Що наявне? Скільки часу та фінансів потрібно для його отримання?

Фахівці для НДР, проектування та виробництва. Які фахівці потрібні? Які є? Скільки часу та фінансів необхідно для їх залучення?

Вихідні матеріали. Чи є в наявності необхідні матеріали? Яка їх вартість?

Організація НДР, проектування, виробництва та збуту. Які допоміжні виробничі підрозділи потрібні (адміністративно-господарський, обслуговування, збуту та реклами тощо)?

Ресурси, пов'язані з прийняттям рішень. Скільки коштуватиме прийняття рішення? Скільки часу воно триватиме? Чи є фахівці, обладнання, прилади тощо?

Технічні фактори. До технічних факторів належать ті показники, що безпосередньо пов'язані з інженерним аналізом або напрацюванням вимог до конструкції, а саме:

- геометричні – габарити та форма;
- вага – загальна та окремих елементів;
- міцність;
- динаміка – коливання, частота власних коливань;
- електромагнітні ефекти;
- корозія;
- втома матеріалу – від напружень, тепла;
- повзучість;
- теплопередача – теплопровідність, конвекція, випромінювання;
- температурні ефекти;
- гідродинамічні ефекти;
- кількість руху;
- знос-машини;
- енергія – джерело, потужність;
- інерція та інші

Психологічні фактори. Крім ресурсних і технічних факторів, при прийнятті інженерних рішень вагому роль відіграє суцього психологічний фактор. Він окреслює не тільки вимоги політичної чи соціальної доцільності, а й вимоги людської етики і моралі. До психологічних факторів належать:

- етика;
- судження різних осіб про вибрану вами альтернативу, чи зможете ви «припіднести» її вашому начальнику, колегам, підлеглим, клієнтам, технічному персоналу загалом і так далі;
- супротив змінам, страх новизни та звичка до старого (в начальника,

колег, підлеглих, клієнтів і так далі);

- естетичні фактори;
- престиж та суспільне становище;
- особиста прихильність, смаки та упередження (власників компанії, суспільства, керівника, колег, технічного персоналу і так далі);
- ваші стосунки в сім'ї, самопочуття, хвороби рідних і керівника також;
- співпереживання, любов, ненависть, страх та інші фактори.

Порядок прийняття рішень

На основі поданої інформації можна запропонувати таку послідовність прийняття рішення.

1. Формулюється мета.
2. Складається якомога повніший список альтернатив.
3. Складається якомога повніший перелік факторів.
4. Складений перелік факторів використовується для зменшення кількості альтернатив.

Решта альтернатив використовується для скорочення кількості факторів, частину з яких тепер уже можна не розглядати.

Після виконання перерахованих кроків отримуємо один із таких варіантів:

- якщо більше не залишилось альтернатив, слід прикласти більше творчих зусиль для складання нового списку альтернатив;
- якщо виключено всі фактори, що впливають на вибір альтернатив, слід скористатися випадковим вибором;
- якщо залишилася тільки одна альтернатива, то рішення буде прийнято суб'єктивно. Якщо це вас влаштовує, то чудово. Якщо ні – поверніться дещо назад;
- якщо залишиться тільки один фактор, то, звичайно, неважко відшукати найкращу альтернативу;
- якщо дозволяють умови, можна використати наукові методи прийняття рішень;
- якщо ситуація залишається все ще складною і можливий тільки суб'єктивний підхід, а застосування наукових методів прийняття рішень не можливе, то слід повернутись до складання якомога повнішого списку альтернатив (п.2).

3.6 МЕТОДИ АНАЛОГІЙ В МЕХАНІЦІ

фізичні аналогії; електромеханічні аналогії; рівняння Лагранжа-Максвелла

Відомі дві форми матерії: речовина та поле. У ретроспективному плані закономірності світу описують двома теоріями.

1. Механіка Ньютона (класична механіка).
2. Теорія відносності Ейнштейна (теорія простору часу), або

релятивістська механіка.

Всі інші теорії примикають до цих двох, або знаходяться на стику цих теорій, зв'язуючи їх воедино. І тільки механіка є наукою, яка своїми методами наскрізь пронизує всі картини світу.

Закони і теореми класичної механіки є фундаментом для всіх розділів прикладної механіки, таких як: теорія механізмів та машин; теоретична механіка; опір матеріалів; гідравліка й інших.

Фізичні аналогії

Окремі закони фізики мають деякі загальні принципи побудови. Прикладами можуть бути закони зберігання матерії та енергії, а також той факт, що різні фізичні явища описуються аналогічними рівняннями та виразами. Наприклад, структура другого закону Ньютона, законів Гука та Ома без опису їх фізичної природи є однаковою:

$$\text{другий закон Ньютона} \quad F = ma, \quad (3.20)$$

$$\text{закон Гука} \quad F = cx, \quad (3.21)$$

$$\text{закон Ома} \quad U = IR. \quad (3.22)$$

Загальним для цих законів є те, що в них входять лише три величини, кожна з яких визначається незалежно (F – сила; U – напруга; m – маса; a – прискорення; c – коефіцієнт пружності; x , – видовження; I – сила струму; R – опір).

Або візьмемо закон всесвітнього тяжіння (закон гравітації), відкритий Ньютоном, відповідно до якого сила притягання між двома тілами рівна:

$$F = j \left(m_1 m_2 / r^2 \right), \quad (3.23)$$

де j – гравітаційна постійна величини;

m_1, m_2 – маси тіл;

r – відстань між тілами.

Цьому закону в електростатиці є аналог – закон Кулона про силу взаємодії двох електричних зарядів q_1 та q_2 :

$$F = k \left(q_1 q_2 / r^2 \right), \quad (3.24)$$

де k – коефіцієнт пропорційності;

r – відстань між зарядами.

І, нарешті, аналогічний закон про силу взаємодії має місце і для магнітних полів:

$$F = k \left(B_1 B_2 / r^2 \right), \quad (3.25)$$

де k – коефіцієнт пропорційності (характеризує магнітну проникність);

B_1, B_2 – магнітна індукція;

r – відстань між джерелами магнітного поля.

Наведені вирази (3.20 – 3.25) формально повністю є аналогічними, але фізична природа в них різна.

Спільність аналітичних залежностей тих чи інших фізичних законів дає можливість використовувати при дослідженні складних систем, побудованих на ланках, що задовольняють ці закони, однаковий математичний апарат. А так як механіка історично за часом завжди випереджала інші галузі, то і її методи стали базовими для інших систем-аналогів.

Відомо, що механіка є наукою про найпростіші форми руху матерії – простих переміщеннях реальних тіл природи в просторі та в часі. Пізнавши закономірності механічної форми руху, ми, безумовно, переносимо свої знання і на більш вищі форми руху.

Однак слід зауважити, що, хоча одні форми руху матерії можуть переходити в інші, абсолютно помилково було б вважати, що вивчення вищих форм руху матерії можна звести до вивчення найпростіших механічних рухів.

Електромеханічні аналогії

Розглянемо деякі закономірності, якими описують механічні та електричні коливання.

Коливальним називають процес, в якому будь-яка з характеристик відхиляється то в один, то в інший бік від свого певного початкового значення (положення). Описати коливальний процес – це значить вибрати характерний параметр процесу, що залежить від часу, і скласти рівняння руху (зміни), якому він підпорядковується. Потім потрібно знайти розв'язок цього рівняння. Тобто закон коливання – залежність вибраного параметра, що змінюється в часі.

Не дивлячись на істотно природні відмінності, механічні та електричні коливання мають багато спільного.

У 1873 році Максвелл висловив гіпотезу про відповідність електричної ланки механічній коливальній системі. В основу електромеханічної аналогії була покладена відповідність між струмом та швидкістю матеріальної точки. Гіпотеза Максвелла дає можливість описати коливальні процеси, що характеризують певні механічні та електричні явища, аналогічними диференціальними рівняннями.

Тепер розглянемо вільні та вимушені коливання деяких механічних пристроїв та електричних ланцюгів.

Система, що виведена з положення рівноваги та надана сама собі, здійснює вільні та власні коливання.

Коливання, що здійснюються під зовнішнім впливом, називаються вимушеними.

Вільні коливання. При русі матеріальної точки може діяти сила, що прагне повернути точку в деяке положення. Ця сила називається відновлюючою. Вільними називають коливання матеріальної точки, що відбуваються під дією відновлюючої сили.

Розглянемо вільні коливання вантажу масою m , що підвішений за допомогою пружини розтягу (рис. 3.2, а).

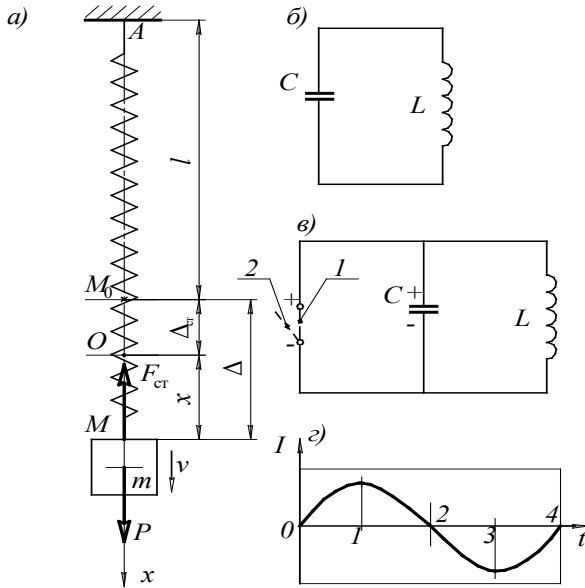


Рисунок 3.2 – Аналоги систем вільних коливань

а – механічна система, б, в – електричний аналог механічної системи,
г – графік зміни сили струму розрядження

Направимо вісь x по вертикалі донизу, а за початок відліку візьмемо деяку точку O , що відповідає положенню статичної рівноваги вантажу, при якому у спокої сила тяжіння вантажу P урівноважується статичною силою пружності пружини $F_{ст}$, тобто

$$P = -F_{ст}, \quad \text{або} \quad mg = -c\Delta_{ст}, \quad (3.26)$$

де m – маса вантажу;

g – прискорення вільного падіння;

c – коефіцієнт пружності пружини;

$\Delta_{ст}$ – статистична деформація пружини під дією сили тяжіння вантажу.

У недеформованому (не навантаженому) стані пружина

знаходиться в спокої, має довжину l та займає відрізок AM_0 . Нижній кінець пружини M_0 знаходиться вище від положення O статичної рівноваги підвішеного вантажу. Якщо до низу пружини в точці M_0 прикріпити вантаж та відпустити без поштовху, то під дією сили тяжіння P вантаж починає рухатися вниз, минувши положення O статичної рівноваги. При цьому пружина розтягується, а сила пружності пружини, тобто відновлююча сила $F_{\text{ст}}$, зростає пропорційно до переміщення x .

Враховуючи, що різниця між силою тяжіння вантажу P та силою пружності пружини $F_{\text{ст}}$ в процесі руху вантажу є змінною величиною, то рух вантажу буде змінним та призведе до виникнення сили інерції $F_{\text{ін}}$.

Досягнувши певного нижнього положення, де швидкість руху вантажу стає рівною нулю, вантаж зупиняється, а потім під дією відновлюючої сили $F_{\text{ст}}$, яка в нижньому положенні вантажу набуває максимального значення, починає рухатися вгору та вертається у вихідне положення M_0 . Потім коливальний цикл повторюється. Таким чином, вантаж здійснює коливальний рух, який в реальних умовах є затухаючим.

Зобразимо вантаж у положенні, зміщеному відносно нуля, тобто точки O , на відстань x до низу. При цьому пружина розтягується на деякий відрізок Δ , а її сила пружності $F_{\text{ст}}$, тобто відновлююча сила, буде дорівнювати

$$F_{\text{ст}} = -c\Delta = -c(\Delta_{\text{ст}} + x). \quad (3.27)$$

Крім сили пружності, на вантаж діє його вага

$$P = mg = c\Delta_{\text{ст}}. \quad (3.28)$$

Змінний характер руху вантажу призводить також до виникнення сили інерції

$$F_{\text{ін}} = ma = m\ddot{x}, \quad (3.29)$$

де $\ddot{x}$ – прискорення руху вантажу.

Згідно з принципом Германа-Ейлера-Даламбера, у випадку невільної матеріальної точки активні сили, в даному випадку сила тяжіння P та реакції зв'язків, якою є сила пружності $F_{\text{ст}}$, урівноважуються силою інерції $F_{\text{ін}}$, тобто

$$F_{\text{ін}} = P + F_{\text{ст}} \quad (3.30)$$

або з врахуванням (3.27), (3.28) та (3.29)

$$m\ddot{x} = c\Delta_{\text{ст}} - c(\Delta_{\text{ст}} + x), \quad (3.31)$$

звідки

$$m\ddot{x} + cx = 0. \quad (3.32)$$

Отримане диференціальне рівняння вільних коливань вантажу масою m є лінійним однорідним рівнянням другого порядку з постійними коефіцієнтами без першої похідної та без правої частини.

Викладене дозволяє зробити висновок, що коливальна система здійснює вільні (власні) коливання, якщо її вивести із стану рівноваги та викликати цим дію внутрішніх відновлюючих сил.

У реальних умовах в будь-якій системі, що коливається, неминучими є втрати, тому самі по собі вільні коливання реальної системи поступово затухають. Для отримання практично незатухаючих коливань потрібно тим чи іншим способом поповнювати запаси енергії, що витрачається.

Коливання бувають періодичними та неперіодичними. З можливих періодичних коливань найбільш розповсюдженими є гармонічні коливання, що відбуваються за законом синуса або косинуса.

Тепер розглянемо ідеальний, тобто без опору, електричний коливальний контур, що складається з котушки індуктивності L та конденсатора ємністю C , які з'єднані послідовно (рис. 3.2, б). Приєднавши до схеми джерело постійної напруги (рис. 3.2, в), зарядимо конденсатор, повернувши ключ у положення 1, а потім повернемо ключ у положення 2, тим самим відключивши джерело струму та замкнувши контур. Конденсатор почне розряджатися через котушку індуктивності. На рисунку 3.2, г зображено графік залежності сили струму I в контурі від часу t .

Оскільки котушка володіє індуктивним опором, то конденсатор розряджається не миттєво, а протягом певного проміжку часу. Наростання сили струму в контурі, по мірі зменшення заряду на конденсаторі, відбувається все повільніше (відрізок кривої 0-1) та стає рівною нулю, коли конденсатор розрядиться. У точці 1 сила струму досягає максимуму, і котушка стає джерелом струму. Вона «гонить» електрони з однієї зарядженої пластини на іншу, перезаряджаючи конденсатор. Сила струму зменшується, а швидкість його зменшення збільшується (відрізок кривої 1-2) та стає рівною нулю в точці 2.

Таким чином, конденсатор стає перезарядженим, струму немає і є ланцюг розрядки. Конденсатор починає знову розряджатися, але у зворотному напрямку. Сила струму в контурі виростає (відрізок кривої 2-3) та досягає максимуму в точці 3. Котушка індуктивності стає джерелом струму та перезаряджає конденсатор. Сила струму зменшується за кривою 3-4 та в точці 4 стає рівною нулю. Конденсатор повторно перезаряджений.

Поява та наростання струму в контурі призводять до виникнення та посилення магнітного поля навколо котушки індуктивності, а

падіння та зникнення струму в контурі призводять до послаблення та зникнення магнітного поля. При цьому після перезарядки конденсатора магнітне поле котушки індуктивності розвертається, міняє полярність.

Так відбувається один період електричних коливань – процес зміни електричного та магнітного полів у коливальному контурі.

При цьому закон зміни заряду q конденсатора в часі t задовольняє умову

$$q = \int_0^t I dt, \quad (3.33)$$

де I – сила струму в контурі.

Напруга на пластинах конденсатора ємністю C буде такою

$$U_C = q/C, \quad (3.34)$$

а на котушці індуктивності

$$U_L = L \frac{dI}{dt}, \quad (3.35)$$

де L – індуктивність котушки.

Згідно з другим законом Кірхгофа маємо

$$U_L + U_C = 0. \quad (3.36)$$

Враховуючи співвідношення (3.33 – 3.35) і зважаючи, що

$I = \frac{dq}{dt}$ та $dI/dt = \frac{d^2q}{dt^2}$, рівняння (3.36) набуває такий вигляд:

$$L \frac{d^2q}{dt^2} + q/C = 0, \quad (3.37)$$

або

$$L\ddot{q} + \left(\frac{1}{C}\right)q = 0. \quad (3.38)$$

Рівняння (3.38), що описує електричну систему, за формою є таким же, як і рівняння (3.32) для механічної системи.

Розглянуті приклади дають змогу стверджувати, що кожному параметру механічної системи відповідає певний параметр електричної системи та навпаки. Наприклад, інерційні властивості елементів механічної системи залежать від маси та моментів інерції. В електричних системах існують аналоги цих понять – індуктивність та ємність.

Звернемося до закону Фарадея, згідно з яким електрорушійна сила, що індукується в провіднику, пропорційна швидкості сили струму U_L (3.35).

З іншого боку, згідно другого закону Ньютона, сила пропорційна швидкості зміни руху точки

$$F = m \frac{dv}{dt}. \quad (3.39)$$

Таким чином, рівняння (3.35) є електричним аналогом другого закону Ньютона (3.39): напруга U_L відповідає силі F ; індуктивність L – масі тіла m ; сила струму I – швидкості тіла v .

Виходячи з поняття електроємності C двох заряджених тіл та співвідношення, що пов'язує величину їх зарядів з різницею потенціалів

$$q = CU_C, \quad (3.40)$$

неважко встановити зв'язок між силою струму та різницею потенціалів, враховуючи, що

$$I = dq/dt. \quad (3.41)$$

Тоді

$$I = C dU_C/dt. \quad (3.42)$$

Вираз (3.42) також є аналогічним другому закону Ньютона, але тут силі F відповідає сила струму I , масі m – ємність C , швидкості v – різниця потенціалів U_C .

Викладені матеріали дозволяють зробити наступні висновки:

1. Будь-який результат, що отриманий для певної системи, буде справедливим і для іншої системи-аналогу.

2. Рівень складності механічної або електричної задач є однако-вим в силу їх еквівалентності.

3. Відкриття, зроблені в електриці, не допомогли у розв'язанні математичних рівнянь, але завжди легше зібрати електричний кон-тур та виміряти його параметри, ніж для цього виготовляти меха-нічний пристрій.

Останній пункт висновків є думкою відомого фізика Річарда Фейнмана. Вона знайшла широке застосування при вирішенні ба-гатьох задач техніки.

Вимушені коливання. Одним із способів підтримувати процес коливання в реальних умовах є нав'язування системі коливань того, що вона би сама не здійснювала. Для цього коливальну систему під-дають зовнішньому впливу, примушуючи її коливатися. Коливання здійснюються за законом зміни та з частотою зовнішнього впливу – збуджувальної сили. Через деякий час після початку зовнішнього впливу, коли згасають власні коливання системи, вона буде здійс-нювати коливання за законом примусового зовнішнього впливу.

Для прикладу таких коливань візьмемо коливання вантажу ма-сою m , підвішеного за допомогою пружини розтягу (рис. 3.3, а). Вантаж утворює поступальну кінематичну пару сухого тертя з нерухомою втулкою.

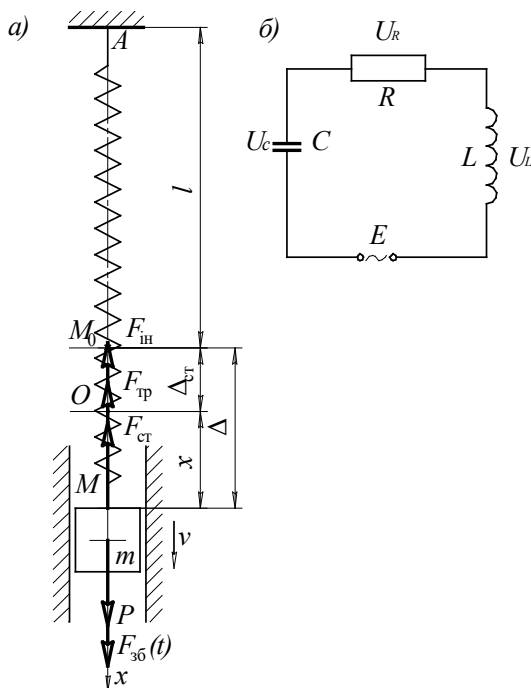


Рисунок 3.3 – Аналоги системи вимушених коливань

а – механічна система, б – електричний аналог механічної системи

За відсутності елемента сухого тертя та нерухомому вантажі пружина розтягується на деякий статичний відрізок $\Delta_{\text{ст}}$. Це положення вантажу на осі x у точці O візьмемо за початок відліку.

У цьому випадку в механічній системі вимушених коливань, порівняно із системою вільних, з'являються додаткові сили, залежні від швидкості v , коефіцієнта r та часу t :

- сила опору руху в елементі сухого тертя $F_{\text{тр}} = rv = r\dot{x}$;
- збуджувальна сила $F_{36} = F_{36}(t)$.

З основного рівняння динаміки поступального руху рівняння руху вантажу (3.30) у цьому випадку буде мати вигляд:

$$F_{\text{ін}} = P - F_{\text{ст}} - F_{\text{тр}} + F_{36}(t) \quad (3.43)$$

або за аналогією з (3.31)

$$m\ddot{x} = c\Delta_{\text{ст}} - c(\Delta_{\text{ст}} + x) - r\dot{x} + F_{36}(t), \quad (3.44)$$

і відповідно

$$F_{36}(t) = m\ddot{x} + r\dot{x} + cx. \quad (3.45)$$

Таким чином, отримали диференціальне рівняння коливально-го руху механічної системи з одним ступенем свободи. Збуджуюча сила $F_{36}(t)$ в даному випадку виступає в якості узагальненої сили.

Розглянемо далі електричну аналогію вимушених коливань в електричному контурі, складеному з пасивних елементів: резистора R , котушки індуктивності L , конденсатора ємності C й активного елемента – джерела зовнішньої електричної сили $e(t)$, що з'єднані послідовно (рис. 3.3, б). З певним проміжком часу в електричному контурі з'явиться струм, сила та напрям якого будуть коливатися залежно від зміни заряду контуру q .

Згідно з другим правилом Кірхгофа, алгебраїчна сума падінь напруги в замкнутому контурі дорівнює електрорушійній силі $e(t)$ джерела напруги, що включено у цей контур, тобто

$$e(t) = U_L + U_R + U_C, \quad (3.46)$$

$$\text{де } U_L = L \frac{dI}{dt}, U_R = RI, U_C = q/C.$$

Підставляючи значення складових напруг у формулу (3.46), отримаємо:

$$e(t) = L \frac{dI}{dt} + RI + q/C. \quad (3.47)$$

Враховуючи (3.41) вираз (3.47) набуде вигляду

$$e(t) = L \frac{d^2q}{dt^2} + R \frac{dq}{dt} + q/C, \quad (3.48)$$

або

$$e(t) = L\ddot{q} + R\dot{q} + 1/C q. \quad (3.49)$$

Порівнюючи отримані рівняння (3.45) та (3.49) між собою, бачимо, що узагальнюючою координатою для механічної системи є переміщення вантажу x , а для електричного аналога заряд конденсатора q , що відповідає силі струму I . При цьому аналогії решти величин такі: $m \rightarrow L$; $r \rightarrow R$; $c \rightarrow 1/C$.

Узагальнюючій силі механічної системи $F_{36}(t)$ відповідає електро-рушійна сила $e(t)$ джерела напруги. Тому в даному випадку говорять про аналогію «сила-напруга».

Рівняння Лагранжа-Максвелла

Механіка Лагранжа – одне з аналогічних до законів Ньютона формулювань класичної механіки, що використовує принцип стаціонарної дії. Цей принцип називають принципом стаціонарної дії або принципом Гамільтона-Остроградського. Він є простим, загальним та потужним засобом для того, щоб передбачити рух в класичній механіці.

У механіці Лагранжа – траєкторія визначається розв'язком однієї з двох форм рівнянь Лагранжа: рівняння Лагранжа I-го роду, яке явно враховує зв'язки, використовуючи додаткові рівняння (зазвичай із використанням множників Лагранжа), або рівняння Лагранжа II-го роду, що враховує зв'язки за допомогою розумного вибору узагальнених координат.

Використання узагальнених координат може значно спростити розв'язок рівнянь механіки, зокрема при розгляді систем із зв'язками. Тому розглянемо рівняння Лагранжа II-го роду для механічних систем.

Відомо, що загальне рівняння динаміки формулюється так: при русі матеріальної системи, що підпорядковується ідеальним двостороннім стаціонарним зв'язкам, сума елементарних робіт всіх активних сил F_a та сил інерції F_{in} на будь-якому можливому переміщенні системи δr дорівнює нулю. Запишемо загальне рівняння динаміки для механічної системи з одним ступенем рухомості

$$(\vec{F}_a + \vec{F}_{in}) \delta \vec{r} = 0. \quad (3.50)$$

Якщо r – радіус-вектор, що визначає положення механічної системи, а q узагальнена координата, то відомо, що $\delta \vec{r} = \frac{\partial \vec{r}}{\partial q} \delta q$.

Тоді

$$(\vec{F}_a \frac{\partial \vec{r}}{\partial q} + \vec{F}_{in} \frac{\partial \vec{r}}{\partial q}) \delta q = 0. \quad (3.51)$$

Так як $\delta q \neq 0$, то

$$\vec{F}_a \frac{\partial \vec{r}}{\partial q} + \vec{F}_{in} \frac{\partial \vec{r}}{\partial q} = 0. \quad (3.52)$$

Перший доданок цього рівняння є роботою активних сил на можливому переміщенні

$$\vec{F}_a \frac{\partial \vec{r}}{\partial q} = \partial A / \partial q = Q, \quad (3.53)$$

де A – робота;

Q – узагальнююча сила.

Другий член рівняння (3.52) є узагальненою силою інерції

$$\vec{F}_{in} \frac{\partial \vec{r}}{\partial q} = m a \frac{\partial \vec{r}}{\partial q}, \quad (3.54)$$

де m – маса механічної системи;

a – прискорення системи.

З урахуванням (3.53) і (3.54) після математичних перетворень, що тут не приводяться, рівняння (3.52) має вигляд:

$$Q - m \frac{dv}{dt} \cdot \frac{\partial \vec{r}}{\partial q} = Q - \left(\frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial T}{\partial \dot{q}} - \frac{\partial T}{\partial q} \right), \quad (3.55)$$

або

$$\frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial T}{\partial \dot{q}} - \frac{\partial T}{\partial q} = Q. \quad (3.56)$$

Якщо механічна система знаходиться в потенціальному силовому полі, то до рівняння (3.56) додають силу потенціальної енергії $\partial\P/\partial q$ і тоді отримуємо:

$$\frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial T}{\partial \dot{q}} - \frac{\partial T}{\partial q} + \frac{\partial \Pi}{\partial q} = Q, \quad (3.57)$$

де T – кінетична енергія;

Π – потенціальна енергія.

Відомо, що для механічної системи з одним ступенем свободи кінетична енергія T та потенціальна енергія Π описуються виразами:

$$T = 1/2 m \dot{q}^2; \quad \Pi = 1/2 c q^2; \quad (3.58)$$

Для електричного аналогу механічної системи – електричного контуру з послідовним з'єднанням елементів, що має узагальнену координату – заряд q_e конденсатора, отже кінетична (електромагнітна) T_e , потенціальна (електростатична) Π_e та функція розсіювання енергії Φ мають вигляд:

$$T = 1/2 L \dot{q}_e^2; \quad \Pi_e = 1/2 C q_e^2; \quad (3.59)$$

Підставляючи вирази (3.59) в рівняння (3.57), отримаємо рівняння Максвелла для електричних систем, що записується так:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T_e}{\partial \dot{q}_e} \right) - \frac{\partial T_e}{\partial q_e} + \frac{\partial \Pi_e}{\partial q_e} = e(t). \quad (3.60)$$

Тут електрорушійна сила $e(t)$ є узагальненою силою Q .

3.7 МОДЕЛЮВАННЯ В ІНЖЕНЕРНІЙ ТВОРЧОСТІ

принципи створення моделей; фізичне моделювання

Моделювання є одним з ефективних засобів пізнання законів і закономірностей навколишнього світу. Його суть полягає в заміні реального процесу певною конструкцією, яка відтворює основні, найістотніші риси процесу, абстрагуючись від вторинних, неістотних. Будь-яка конструкція – фізична чи математична – це спрощений, схематичний образ реальності.

Побудова моделі завжди пов'язана з компромісом. Щоб за допомогою моделі було можливо отримати результати, близькі до дійсних, вона повинна бути досить детальною і, як наслідок, доволі складною. У той же час модель повинна бути простою, щоб можна було отримати рішення за певних обмежень, що накладаються на результати такими факторами, як терміни, фінанси, обладнання, кваліфікація виконавців і так далі. У найзагальнішому випадку при побудові моделі дослідник відкидає несуттєві для вивчення характеристики, а ті характеристики,

які при цьому зберігаються у створенні моделі, визначаються цілями моделювання. Основна вимога до моделі – це її адекватність реальним процесам або об'єктам.

Моделювання – це комплексний метод дослідження певних явищ та процесів, що базується на заміні дійсного об'єкта дослідження (оригіналу) на схожий до нього, але більш доступний для вивчення та, можливо, інший за формою споріднений об'єкт (модель).

Для складних технічних систем, які є основним об'єктом системотехніки (системотехніка – напрямок науки і техніки, який охоплює проектування, створення, випробування та експлуатацію складних систем технічного і соціально-технічного характеру), достатньо важко й навіть неможливо створити всезагальну теорію для вирішення конкретних задач. Тому, на відміну від інших прикладних наук, в системотехніці місце теорії зайняла модель. Якщо теорія ґрунтується на невеликій кількості аксіом або законів (експериментально доведених фактів), то модель створюється на підставі емпіричних або допущених даних, котрі об'єктивно не є ні законами, ні закономірностями. Це формальне уявлення явищ, які спостерігалися. Інженерні моделі не є точними копіями реальних фізичних явищ.

Розрізняють натурне (фізичне) та абстрактне (математичне) моделювання. Фізичне моделювання здійснюється шляхом відтворення процесу на моделі. Абстрактне моделювання відображає реальність інформаційним шляхом (наприклад математичними співвідношеннями – аналітичними або статистичними).

Принципи створення моделей

Основні принципи моделювання стисло відображають той багатий досвід, який накопичено до нинішнього часу в галузі розробки й використання математичних моделей.

Принцип інформаційної достатності. При повній відсутності інформації про досліджувану систему побудова її моделі неможлива. При наявності повної інформації про систему її моделювання позбавлене сенсу. Існує певний критичний рівень апріорних відомостей про систему (рівень інформаційної достатності), при досягненні якого може бути побудована її адекватна модель.

Принцип здійсненності. Створювана модель повинна забезпечувати досягнення поставленої мети дослідження за скінчений час з ймовірністю, що істотно більшою від нуля. Зазвичай задають деяке граничне значення P_0 ймовірності досягнення мети моделювання $P(t)$, а також прийнятний термін (t_0) часу досягнення цієї мети. Модель вважають здійсненою, якщо може бути виконана умова: $P(t_0) \geq P_0$.

Принцип множинності моделей. Будь-яка конкретна модель відображає лише деякі сторони реальної системи. Цей принцип є ключовим. Йдеться про те, що створювана модель повинна відображати в першу чергу ті властивості реальної системи (або явища), які впливають на обраний показник ефективності. Таким чином при використанні будь-якої конкретної моделі пізнаються лише деякі сторони реальності. Для більш повного її дослідження необхідна низка моделей, що дозволяють розглядати даний процес з різних сторін і з різним ступенем детальності.

Принцип системності. Досліджувану систему подано у вигляді сукупності взаємодіючих між собою підсистем, які моделюються стандартними математичними методами. При цьому властивості системи не є сумою властивостей її елементів.

Принцип агрегування. Показ системи, що складена з окремих агрегатів (підсистем), для адекватного математичного опису яких можна використати деякі стандартні математичні схеми. Крім того, принцип агрегування дозволяє досить гнучку перебудову моделі, залежно від завдання дослідження.

Принцип параметризації. Деякі підсистеми модельної системи можуть бути зображені єдиним параметром: вектором, матрицею, графіком, формулою. У низці випадків модельована система має у своєму складі деякі відносно ізольовані підсистеми, що характеризуються певним параметром (в тому числі й векторним). Такі підсистеми можна замінювати в моделі відповідними числовими величинами, а не описувати процес їх функціонування. При необхідності залежність значень цих величин від ситуації можна показати у вигляді таблиці, графіка або аналітичного виразу (формули). Принцип параметризації дозволяє скоротити обсяг і тривалість моделювання. Однак треба мати на увазі, що параметризація знижує адекватність моделі.

Фізичне моделювання

При фізичному моделюванні процеси, які відбуваються в об'єкті-оригіналі та моделі, що вивчається, мають однакову фізичну природу. Фізичне моделювання будується на умовах подібності. При цьому співвідношення параметрів, якими характеризуються певні процеси в моделі та оригіналі, підбираються за відповідними критеріями подібності.

Найбільш важливими видами фізичного моделювання є макетне та експериментальне моделювання.

При макетному моделюванні виготовляють макет, який являє собою фізичну модель технічної системи, яка досліджується, або її окремих елементів (частин, вузлів). Ця модель, як правило, реалізує одну

чи декілька характеристик технічної системи або фізичного процесу, який відбувається в ній. Макет може бути наглядною об'ємною копією технічної системи, наприклад, металорізального верстата, що являє собою компонування верстата в масштабі або, наприклад, теплової моделі станини верстата для аналізу теплових деформацій.

Характеристика або процес, які реалізуються в макеті, повинні мати фізичну природу оригіналу. За результатами дослідження макета, що є подібним до реальної конструкції, роблять висновок про доцільність того чи іншого технічного рішення. Широко використовують макетування при розробці компонувальних рішень технічної системи з точки зору технічної естетики та ергономіки. Макетування використовують і при оцінці конструктивних варіантів деталей несучих елементів. Дуже ефективними є макетування при пошуку конструктивних рішень систем керування обладнанням.

Експериментальне моделювання полягає у розробці конструктивних елементів технічної системи, тобто технічних рішень, які перевіряють на універсальних або спеціальних стендах, що імітують реальні умови роботи дійсної технічної системи, тобто оригіналу. Зменшення вартості експериментальних досліджень досягається за рахунок виготовлення моделей тільки тих вузлів системи, що викликають сумніви щодо доцільності їх застосування.

Необхідно зазначити, що кінцеві висновки відносно якості машини можуть дати лише виробничі випробування в експлуатаційних умовах.

Перевагою експериментального моделювання є максимальна достовірність отриманих результатів для оцінки ефективності технічних рішень та можливість одночасного вивчення різних показників, що скорочує час та зменшує матеріальні витрати на доробку технічної системи. Основні недоліки експериментального моделювання порівняно з макетними пов'язані з більш низькими можливостями варіювання конструктивних рішень та більшою вартістю моделі. Експериментальне моделювання є особливо необхідним при перевірці технічних рішень, що призначені для здійснення нових технологічних процесів.

При фізичному моделюванні значенню певної величини x_n в натуральних умовах відповідає значення відповідної величини x_m моделі, що характеризується коефіцієнтом подібності

$$k = x_n / x_m, \quad (3.61)$$

де індекси «н» і «м» належать до натурального показника та показника на моделі, відповідно.

Для кожного виду фізичної величини коефіцієнт подібності повинен бути постійним, тобто $k = \text{const}$.

Коефіцієнт подібності вибирають залежно від масштабу, необхідного для моделювання основних показників при дослідженні фізичного процесу. А коефіцієнти подібності будь-яких показників визначають за строгими формулами, якими описують певне фізичне явище.

Наприклад, швидкість v та прискорення a є похідними видами величин від лінійних розмірів l та проміжку часу t , оскільки

$$v = l/t, \quad a = v/t = l/t^2 \quad (3.62)$$

Тому відповідні коефіцієнти подібності швидкості k_v та прискорення k_a пов'язані з коефіцієнтами подібності лінійних розмірів k_l та проміжку часу k_t співвідношеннями

$$k_v = v_n/v_m = l_n t_m / l_m t_n = k_l / k_t, \quad k_a = k_v / k_t = k_l / k_t^2. \quad (3.63)$$

Безрозмірні комбінації фізичних показників, рівність яких є необхідною умовою подібності протікання фізичних процесів на моделі та в натурному об'єкті, називаються критерієм подібності.

У ДСТУ 3651.2-97 наведено широковживані характеристичні числа – критерії подібності фізичних систем, що використовуються в інженерній творчості.

Фізичне моделювання, крім того, підпорядковується загальним принципам, що є необхідними для вивчення натурального явища в експериментальних умовах.

При випробуванні зразків з натурними розмірами можна бути впевненими, що значення величини x_m , що вимірюються в експерименті, відповідає значенню x_n у натурі лише тоді, коли величина x визначається одночасно у модельних та натурних умовах. Це забезпечується постановкою експерименту. Аналогічні умови одночасності можуть бути виконані й при моделюванні із зміною масштабу. Тому повна теорія подібності фізичних явищ при моделюванні включає в себе, крім розмірних умов, ще й аналіз умов одночасності подій.

Розмірні фізичні параметри, що входять у критерій подібності, можуть істотно відрізнятися між собою. Однаковими повинні бути лише безрозмірні критерії подібності, що характеризують натурний об'єкт та модель. Ця властивість подібних явищ складає основу фізичного моделювання реальних об'єктів. Якщо рівняння, що описують фізичне явище, відомі, то критерії подібності формуються шляхом приведення цього рівняння до безрозмірного критеріального вигляду.

У механіці для моделювання процесів використовують ряд класичних критеріїв подібності. Відомий закон Ньютона, що описує поступальний рух матеріальної точки при дії сили F , в диференціальній формі має вигляд:

$$F = m \frac{d^2 x}{dt^2}, \quad (3.64)$$

де m – маса матеріальної точки, кг;

x – координати точки, м;

t – час, с.

Оскільки символи диференціювання, що входять у рівняння (3.64), можуть бути відкинуті, так як вони не мають розмірності, рівняння можна записати так:

$$x/t^2 = F/m. \quad (3.65)$$

Розділивши праву частину цього рівняння на ліву, отримаємо критерій подібності Ньютона для поступального руху

$$k_N = F t^2 / m x = idem, \quad (3.66)$$

де *idem* – «ідемпотентність», – означає властивість математичної операції, яка проявляється в тому, що повторна її дія над будь-яким об'єктом уже не змінює результату.

Для обертового руху:

$$T = I \frac{d^2 \varphi}{dt^2}, \quad (3.67)$$

де φ – кут повороту, рад;

T – обертовий момент, Нм;

I – динамічний момент інерції відносно осі обертання, кг·м².

Аналогічно для обертового руху критерій подібності Ньютона має вигляд:

$$k_N = T t^2 / I \varphi = idem. \quad (3.68)$$

Критерії подібності фізичних явищ, процесів у технічних системах є незалежними один від іншого. Їх поєднання дає нові критерії, що відображають ті чи інші фізичні властивості технічних об'єктів.

Співвідношення між параметрами подібних явищ базуються на трьох теоремах подібності, де сформульовані необхідні та достатні умови подібності.

Перша теорема подібності встановлює необхідні умови подібності та формулюється так: якщо фізичні явища є подібними, то критерії подібності цих явищ рівні між собою

$$k_1 = k_2 = \dots = k_n = idem, \quad (3.69)$$

де індекси 1, 2, ..., n – указують на номер явища.

Друга теорема подібності встановлює математичну структуру явищ, що описують подібні фізичні явища. Функціональна залежність між параметрами, що характеризують явище може бути виражена у вигляді залежності між критеріями подібності, сформованих з цих параметрів.

Третя теорема подібності вказує на достатні умови подібності. Два фізичних явища є подібними, якщо вони описуються однією системою рівнянь та мають подібні граничні умови однозначності, а їх критерії подібності чисельно рівні.

Основою теорії подібності, за допомогою якої будується фізичне моделювання, є метод аналізу розмірності. В основі теорії розмірності лежить принцип розмірної однорідності фізичних рівнянь. Всі члени рівнянь, що описують фізичні явища, повинні мати однакову розмірність. На це вперше звернув увагу французький математик Ж. Фур'є.

Велику допомогу надає розробникам нової техніки фізичний метод моделювання експлуатаційних умов, що полягає в стендових дослідженнях машин та механізмів на форсованих режимах, більш важких, ніж нормальна робота машини. У цьому випадку машина здійснює в стиснуті строки цикл, що при нормальній роботі триває роки. Подібні жорсткі дослідження дозволяють оперативно знаходити недоліки конструкції та вжити заходи для їх усунення.

Математичне моделювання базується на окремих теоріях і заслуговує відокремленої дисципліни, тому тут детально не розглядається.

Використана література

1. Андрейчиков А. В., Андрейчикова О. Н. Компьютерная поддержка изобретательства (методы, системы, примеры применения).- М.: Машиностроение, 1998.-476 с.
2. Грабченко А. І., Федорович В. О., Гаращенко Я. М. Методи наукових досліджень. Навчальний посібник. – Харків, 2009. – 138 с.
3. Єріна А. М. Є 71 Статистичне моделювання та прогнозування: Навч. посібник. – К.: КНЕУ, 2001. – 170 с.
4. Конструирование машин. Справочно-методическое пособие в 2-х томах. Под ред. Фролов К. В. – М.: Машиностроение, 1994.
5. Кузнецов Ю. М., Луців І. В., Дубиняк С. А. Теорія технічних систем. Під заг. Ред., проф. Ю. М. Кузнецова. – К.-Тернопіль: 1997. – 310 с.
6. Павловський М. А. Теоретична механіка. – К.: Вища школа, 1993. – 479 с.
7. Петров В. История развития алгоритма решения изобретательских задач – АРИЗ. Информационные материалы. Изд. 2-е, испр. и доп. – Тель-Авив, 2008 – 196 с.
8. Половинкин А. И. Основы инженерного творчества. Учеб.пособие для студентов вузов. – М.: Машиностроение, 1988. -368 с.
9. Рабочая книга по прогнозированию. Под ред. И. В. Бестужев - Лада. – М.: Мысль, 1982. – 430с.
10. Терешин В. Г. Уравнения Лагранжа второго рода, их приложения к механическим и электромеханическим системам: Учеб. пособие / В. Г. Терешин; Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. Уфа: УГАТУ, 2006. – 153 с.

4 КОНЦЕПЦІЯ ТВОРЕННЯ НОВОЇ ТЕХНІКИ

Ще в 1964 році академік П.Л.Капіца сказав: «Добре відомо, що основними показниками прогресу народного господарства є продуктивність праці, а підвищення продуктивності праці досягається головним чином освоєнням нової техніки та досягнень науки. Коли уповільнюється ріст продуктивності праці, то причину цього слід шукати в недостатньому освоєнні промисловістю досягнень науки та техніки».

Академік П.Л.Капіца назвав основні причини, що гальмують освоєння досягнень науки та техніки. Це:

- відсутність бажання;
- недостатня підготовка;
- невиправдане перевантаження;
- недостатня матеріальна зацікавленість;
- відсутність чіткої програми (правильного алгоритму дій);
- негативне ставлення до наукових колективів та наукової праці;
- низька продуктивність наукових співробітників;
- недостатнє фінансування наукових установ з боку держави.

Таким чином, рушійною силою розвитку продуктивних сил є творення нової техніки.

Нова техніка – це результат науково-технічного досягнення у вигляді машини, приладу, механізму, транспортного засобу тощо, який впливає при їх реалізації на розвиток продуктивних сил і задовольняє потреби суспільства у продукції на більш високому рівні, ніж відомі раніше прототипи або аналоги.

Розроблення нової техніки – це процес проектування і складання необхідної для виготовлення й експлуатації технічної документації, як графічної, так і текстової на основі *технічного завдання*, що включає призначення, технічні характеристики і показники якості, а також техніко-економічні вимоги, що ставляться до нової машини.

Тобто, в основі творення машин лежить конструкторська діяльність, яку можна оцінити рівнем розробки.

I-им, найвищим рівнем, є творче (оригінальне) конструювання, коли машина розробляється на новому фізичному або технологічному принципі.

II-им рівнем є конструктивне удосконалення, коли проектують машину, принцип роботи якої відомий, але конструктор намагається досягти нових якісних показників.

III-ій рівень – це розробка відомих за принципом роботи машин, але пристосованих до певних умов експлуатації.

До IV-го рівня належить створення ряду машин певного призначення, що відрізняються лише деякими параметрами.

Й найменший творчий внесок відбувається на V-ому рівні, коли переробляють конструкцію окремих складальних одиниць із метою вирішення локальної задачі (збільшення довговічності, підвищення надійності, зменшення маси, покращення мащення тощо), що стосується певного вузла.

Розроблена нова техніка потребує постановки її на серійне виробництво.

Постановка нової техніки на виробництво – це процес підготовки машинобудівного заводу до виробництва машини у встановлених обсягах.

Постановці техніки на серійне виробництво передують виготовлення дослідного зразка машини (виробу).

Дослідний зразок – це машина, що виготовлена промисловим способом в одному або декількох екземплярах до впровадження в серійне виробництво з метою перевірки відповідності технічної характеристики, передбаченої технічним завданням.

Кожний впроваджений в експлуатацію об'єкт нової техніки повинен перевищувати за своїми показниками й техніко-економічними характеристиками кращі світові зразки.

4.1 ЗАСАДИ ТВОРЕННЯ

умови для творення нової техніки; інформаційний та техніко-економічний аналіз; правила успішного освоєння нової техніки

Умови для творення нової техніки

Для творення нової техніки необхідно забезпечити відповідні умови, синтез яких дозволяє ефективно на високому науково-технічному рівні розробляти й освоювати прогресивні новітні технічні системи. Для успішного розв'язання поставлених задач необхідно в першу чергу мати:

- контингент висококваліфікованих дослідників, технологів та конструкторів;
- достатню спеціалізацію фахівців в окремій галузі промисловості;
- професійний досвід, набутий роками;
- глибокі знання технологічних процесів визначеного виробництва;
- відомості про технічні досягнення визначеного виробництва;
- результати техніко-економічного аналізу визначеного виробництва;
- моніторинг розвитку фундаментальних та прикладних досліджень;
- доробок технологічних процесів і конструктивних схем

виконання машин;

- лабораторну базу;
- експериментальне виробництво;
- достатнє фінансування науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт.

Такі умови творення нової техніки мають спеціальні конструкторські бюро або галузеві науково-дослідні інститути чи науково-дослідницькі центри як державні, так і великих міжнародних компаній, в яких переважно і створюють об'єкти нової техніки.

Творення об'єктів нової техніки при наявності умов відбувається за схемою:

- фундаментальні наукові дослідження, котрі дозволяють відкривати суть природничих процесів;
- прикладні дослідження, в ході виконання яких виявляють можливість й хід використання наукових відкриттів в інтересах матеріального виробництва;
- розроблення та постановлення продукції (об'єктів нової техніки) на виробництво.

Якщо в процесі проведення фундаментальних досліджень людина просто пізнає світ і розкриває для себе суть природних явищ, не замислюючись про наслідки зробленого відкриття, то при проведенні прикладних досліджень творець ставить конкретну мету: виявлення можливості й встановлення умови використання відомих відкриттів.

Щоб виріб відповідав вимогам щодо нової техніки, був якісним і надійним, його необхідно ретельно опрацювати. Головним критерієм підвищення технічного рівня виробу є проведення прикладних науково-дослідних робіт.

У процесі науково-дослідних робіт вирішують такі завдання:

- розробка нового принципу дії виробу, що дозволяє поліпшити споживчі властивості, довговічність, зручність обслуговування тощо;
- розробка нової технології, більш досконалої та продуктивної, за мінімальної участі людини у технологічній операції, мало-відходної, енергозберігаючої, яка дозволяє механізувати, автоматизувати і роботизувати технологічний процес;
- удосконалення існуючих виробів чи технологій.

Науково-дослідні роботи завершуються звітом, в якому надають рекомендації щодо використання результатів прикладних досліджень, які підтверджуються відповідними техніко-економічними розрахунками.

Порядок розроблення та постановки машинобудівної продукції

на виробництво регламентований відповідними нормативними документами України. Загалом вони передбачають такі складові процеси створення об'єктів нової техніки:

- заявка на розробку;
- техніко-економічне обґрунтування;
- складання технічного завдання;
- розроблення технічної документації;
- виготовлення і випробування дослідного зразка;
- конструкторська підготовка виробництва;
- технологічна підготовка виробництва;
- підготовка сертифікату відповідності;
- освоєння серійного виробництва;
- організація сервісного обслуговування;
- забезпечення утилізації.

Інформаційний та техніко-економічний аналіз

Як правило, роботу над новою машиною починають із ретельного інформаційного пошуку відомих технічних рішень і визначення тенденції та напрямку розвитку певної галузі та засобів технологічного оснащення, що в цій галузі використовують (див. розділ 5).

Обов'язкове ознайомлення з відомими технічними рішеннями аналогічних або подібних задач важливе, з одного боку, щоб уникнути зайвих витрат часу і засобів на розробку вже існуючої конструкції, а з іншого боку, щоб ретельно проаналізувати існуючі конструкції і виявити шляхи їх подальшого удосконалення, зберігаючи конструктивне наслідування.

Принцип конструктивного наслідування є важливим не тільки, коли мова йде про конструкцію з аналогічними функціональними ознаками, але й тоді, коли в машині, що розробляється відповідно до технічного завдання не всі параметри відповідають реалізованим в уже відомих аналогічних конструкціях. У цьому випадку корисно нову задачу розбити на складові частини. А для деяких складових задач можуть бути застосовані уже відомі рішення, що використовуються в інших конструкціях. Використання відомих виробів в різних машинах суттєво спрощує процес їх виготовлення.

Інформаційний пошук завершується складанням відповідного звіту, що повинен містити результати літературного і патентного пошуку. Інформаційний пошук повинен давати відповідь розробнику нової техніки, в якому напрямку необхідно рухатися, щоб створити машину, яка буде мати перевагу перед кращими світовими зразками. Інформаційний пошук доповнюють прогнозуванням конкурентоспроможності нової машини.

Нову машину починають розробляти тільки після ретельного техніко-економічного аналізу існуючого виробництва-споживача, який повинен засвідчити, що діюча машина стала «вузьким місцем» і гальмує подальший розвиток виробництва з таких причин:

- якість продукту, що виробляє машина, не відповідає встановленим вимогам;
- низька продуктивність;
- великі габаритні розміри;
- значна маса;
- низький ККД;
- високі енерговитрати;
- недостатня надійність;
- значна частка допоміжних операцій, що виконуються вручну;
- робота машини супроводжується вібрацією;
- шум при роботі машини перевищує встановлені норми;
- потенційна небезпека при експлуатації;
- потреба частого технічного обслуговування;
- екологічно небезпечна та інше.

Техніко-економічний аналіз доповнюють результатами дослідження кон'юнктури ринку.

Правила успішного освоєння нової техніки

Зі слів П. Л. Капіци слідує, що для успішного освоєння досягнень науки й нової техніки промисловістю необхідно дотримання ряду правил. Освоєння нової техніки означає, що промисловість повинна навчитись робити те, що вона не робила до цього. Отже, освоєння нової техніки треба здійснювати при дотриманні тих педагогічно-професійних правил (умов), які ми зазвичай використовуємо, коли навчаємо кого-небудь чомусь новому.

Правило 1. Коли навчаємо студентів, головною умовою, яка необхідна – це бажання людини навчатись. Відомо: якщо такого бажання немає, то палицею «заганяти» знання в людину неможливо.

Для того, щоб це бажання виникало, потрібно створити сприятливі психологічні й матеріальні умови. Необхідно створити такі умови, за яких наша промисловість і наші заводи були б зацікавлені випускати нове. Це і є правило номер один.

Правило 2. Коли навчається людина чомусь новому, то вона при цьому завжди повинна мати відповідну підготовку.

Отже, наступна умова (правило) – достатня підготовка технологічної бази і виробничого персоналу заводу-виробника нової продукції.

Правило 3. Не можна перевантажувати людину навчанням.

Слід пам'ятати, що у виробництва, як і в людини, здатність засвоювати (отримати) нові знання має свої межі.

Правило 4. Повинні бути створені сприятливі матеріальні умови. Тобто необхідно мати належне фінансування проекту освоєння нового.

Правило 5. Також необхідно мати добре опрацьовану програму, що вказує шлях, по якому повинен рухатись завод для успішного вирішення задачі випуску нової продукції.

Правило 6. Це правило стосується вчителя. Для успішного навчання між учителем та учнем повинні бути дружні й тісні стосунки. Іншими словами, розробник повинен бути зацікавлений в успішному освоєнні нової техніки так само, як і завод-виробник.

Промисловість розвинутих країн, таких як *США*, Японія, Німеччина, Англія, накопичила значний досвід освоєння нової техніки. Американці стверджують, що їх промисловості при досягнутому високому культурному рівні і наявності вільних капіталів не вистачає наукових доробків, які б задовольнили запит промисловості в освоєнні нової техніки. Вони вважають, що недостатні масштаби розвитку їх науки є наслідком, в основному, нестачі висококваліфікованих учених й інженерів.

4.2 ЕТАПИ ТВОРЕННЯ

*зародження технічного рішення; підготовчі роботи; розробка конструкції;
виготовлення дослідного зразка та його випробовування;
організація серійного виробництва*

Досягнення сучасної техніки базуються на фундаментальних наукових відкриттях та дослідженнях. Взаємозв'язок техніки з наукою – один із головних факторів науково-технічної революції, найважливіша умова науково-технічного прогресу та суспільного розвитку в цілому.

На основі відкриттів ґрунтується більшість технічних ідей, котрі дають можливість вирішити певну технічну задачу. Однак, як свідчить практика, із сотні запропонованих технічних ідей, що захищені патентами на винаходи, до розробки приймають не більше двадцяти технічних рішень. А з двадцяти розроблених конструкцій до виготовлення дослідного зразка доходять лише дві машини. Виготовлення дослідного зразка не гарантує поставки машини на виробництво. Після проведення відповідних випробувань залишається жити лише кожна друга машина.

Таким чином, можна уявити, який величезний обсяг роботи виконують розробники нової техніки та якому моральному тиску вони піддаються з боку суспільства, перш ніж нова машина

стане предметом виробництва та знайде застосування в народному господарстві.

У техніці матеріалізовані знання та виробничий досвід нажиті людством у процесі розвитку суспільного виробництва. Якщо в минулому техніка в основному акумулювала в засобах праці емпіричні знання та досвід, то зараз вона стала засобом матеріалізації наукових знань. Розвиваючись на основі наукових досягнень, техніка у свою чергу стимулює наукове пізнання, ставить перед наукою нові завдання, удосконалює засоби наукової діяльності.

Нові машини не народжуються раптово та не з'являються випадково. Від виникнення ідеї створення до організації серійного виробництва машина проходить тернистий шлях становлення протягом визначеного, іноді довгого, проміжку часу. Ідея створення, а потім і розроблена конструкція нової машини піддається найсуворішій критиці. І якщо після виготовлення та комплексу випробувань дослідного зразка нова машина «виживає», то вона стає предметом промислового виробництва.

Зупинимось конкретніше на окремих етапах творення нової техніки.

Зародження технічного рішення

Успішна конкуренція на світовому ринку можлива лише при наявності у виробника товарів ефективного автоматизованого та роботизованого виробництва з низькою технологічною собівартістю та невеликими накладними витратами. Тому спеціалісти кожної галузі постійно слідкують за новинками науково-технічного прогресу, безперервно аналізують технічний рівень технологічних процесів та технологічного обладнання, виявляють «вузькі місця» свого виробництва та розробляють заходи щодо їх ліквідації (удосконалення). У результаті такої праці та аналізу потреби й попиту виникають технічні ідеї щодо творення нових машин, і лише після «виживання» таких ідей вони переростають у чітко поставлену технічну задачу. Паралельно з цим виконується інформаційний пошук можливих технічних рішень, і висловлена ідея підкріплюється фізичним принципом дії майбутньої машини.

Таким чином, цей етап творення нової техніки можна умовно поділити на такі три частини:

- зародження технічної ідеї;
- уточнення формулювання поставленої задачі;
- інформаційний пошук можливих рішень.

Технічні ідеї призводять до появи винаходів на більш вдосконалені машини (технічні системи), що в умовах виснаження природних

ресурсів, коли третина населення планети знаходиться за межею бідності, можуть вирішувати не лише техніко-економічні, але й соціальні проблеми.

Підготовчі роботи

Підготовчі роботи щодо творення об'єктів нової техніки доручають виконувати найбільш висококваліфікованим науковим співробітникам науково-дослідних та конструкторсько-технологічних центрів, а також провідним фахівцям спеціальних конструкторських бюро. Обумовлено це високою вартістю, яку необхідно буде заплатити згодом у випадку невдачі. Вартість чергового етапу, що виконується при створенні нової машини, підвищується у порівнянні з попереднім на порядок, тобто орієнтовно збільшується в десять разів.

Мета підготовчих робіт полягає в тому, щоб з певної кількості запропонованих фізичних принципів впливу на предмет виробництва, на основі якого буде побудована нова машина, вибрати шляхом проведення прикладних досліджень єдиний, оптимальний. Потім розробити технологічний процес, який буде здійснювати майбутня машина, та скласти техніко-економічне обґрунтування необхідності її створення.

Отже, підготовчі роботи здійснюються у такій послідовності:

- проведення прикладних досліджень;
- розробка технологічного процесу;
- складання техніко-економічного обґрунтування необхідності створення нової машини.

Технологічний процес є основою для розробки алгоритму функціонування, згідно з яким при проектуванні здійснюється структурна побудова нової машини.

Розробка конструкції

Лише після успішного завершення підготовчих робіт приступають до проектування нової машини. Займаються цим фахівці конструкторсько-технологічних, проектно-конструкторських центрів або спеціальних конструкторських бюро.

Розробку конструкції нової машини, зазвичай, здійснюють у такій послідовності:

- складання технічного завдання на розробку та постановку на виробництво;
- проектування;
- перевірка прийнятих технічних рішень;
- конструювання.

Зміст усіх перерахованих складових цього етапу, за винятком перевірки прийнятих технічних рішень, регламентовано відповідними нормативно-технічними документами.

Технічне завдання визначає основне призначення виробу та містить технічні та техніко-економічні показники, необхідні стадії розробки та склад конструкторської документації, а також технічні вимоги до виробу, місце та строки проведення випробувань дослідного зразка.

Цей етап творення нової техніки детально описаний в розділі 6 «Проектно-конструкторська діяльність».

Виготовлення дослідного зразка та його випробування

Цей етап визначає виконання таких робіт:

- розробка програми та методики проведення випробувань;
- розробка маршрутної технології на виготовлення окремих деталей та складання вузлів;
- виготовлення та складання дослідного зразка;
- випробування дослідного зразка.

Зазвичай виготовлення дослідного зразка нової машини проводять на дослідно-експериментальному виробництві проектної організації. Воно, як правило, оснащено сучасними металорізальними верстатами, ковальсько-пресовими, термічними, гальванічними та іншим обладнанням; вимірювальними приладами та інструментами, а також іншими засобами технологічного оснащення для якісного виготовлення оригінальних деталей. З економічних міркувань при виготовленні дослідного зразка розробляють маршрутну технологію виготовлення деталей. Тому дослідно-експериментальне виробництво проектних організацій комплектують висококваліфікованими фахівцями інженерних та робочих професій.

Виготовлення дослідного зразка нової техніки проводять під постійним контролем розробників, які здійснюють авторський супровід. Це дозволяє своєчасно виявляти та оперативно усувати конструкторські помилки непринципового значення. Основний задум конструкторів перевіряють шляхом випробувань. Першим із таких випробувань є заводські випробування нової техніки силами розробників та виробників в умовах дослідно-експериментального виробництва.

Випробування – це експериментальне визначення кількісних та якісних показників і властивостей об'єкту дослідження для виявлення їх відповідності вимогам технічного завдання або для дослідного вивчення процесів, що відбуваються в машинах.

Випробування проводиться відповідно до розробленої проектною

організацією програми та методики проведення випробувань, що відповідають вимогам потенційних замовників (споживачів) продукції, а за необхідності погоджена з ними.

Розрізняють такі види випробувань: лабораторні, заводські, стендові, експлуатаційні, польові, ходові тощо. За призначенням випробування можуть бути дослідницькими, контрольними, приймальними.

Лабораторні випробування проводять на етапі підготовчих робіт при проведенні прикладних досліджень для вибору оптимального фізичного принципу дії майбутньої машини та на етапі проектування при перевірці прийнятих технічних рішень.

Особлива увага при випробуванні машин приділяється перевірці надійності. Загальними для всіх галузей машинобудування є випробування машин нових конструкцій на моделях, натурних зразках (натурні випробування, детальніше див. підрозділ 4.4), випробування машин серійного виробництва, науково-дослідницькі випробування машин.

Дуже важливе значення мають випробування досліджених зразків машин, що проводять в умовах заводу-виробника із залученням розробників нової техніки, так звані заводські випробування, та приймальні випробування в умовах експлуатації майбутнього виробу, тобто у замовника або потенційного споживача майбутньої техніки. У склад приймальної комісії обов'язково входять представники замовника, розробника, виробника та необхідних контролюючих органів (безпеки праці, санепідеміологічного контролю, екологічного контролю, пожежного нагляду тощо). За вимогою замовника до приймальних випробувань можуть буди залучені і фахівці іншого профілю.

За результатами приймальних випробувань складається протокол із переліком виявлених недоліків, що повинні бути усунені заводом-виробником у дослідному зразку та внесені розробниками нової техніки в робочу документацію для серійного виробництва.

Лише за позитивного результату всіх випробувань відкоригована робоча документація на нову машину передається заводу-виробнику для організації серійного виробництва.

Організація серійного виробництва

Дослідний зразок, що пройшов всі випробування, є основою організації серійного виробництва нової машини. Під час підготовки виробництва виконують такі необхідні роботи:

- коригують робочу документацію на виріб за результатами випробувань;

- здійснюють технологічну підготовку виробництва;
- визначають та встановлюють правила утилізації виробу після закінчення строку служби;
- підготовляють та затверджують сертифікат відповідності;
- здійснюють необхідні організаційні заходи;
- організовують мережу сервісного обслуговування виробу.

Особливе місце при організації серійного виробництва займає технологічна підготовка виробництва, що за трудомісткістю та вартістю збігається з розробкою робочої документації на машину.

При технологічній підготовці виробництва вирішують такі основні завдання:

- відпрацьовують конструкцію машини на технологічність;
- розробляють технологічні процеси виготовлення деталей та складання вузлів;
- встановлюють технологічні норми часу на виготовлення машини, норми витрати матеріалів та технологічного оснащення;
- проектують спеціальний та нормалізований інструмент, пристрої, штампи та інше технологічне оснащення;
- виготовляють та доводять технологічне оснащення;
- проектують та виготовляють спеціальне обладнання, засоби механізації та автоматизації, транспортні засоби та нестандартне обладнання;
- розраховують потребу в технологічному обладнанні для виготовлення виробів;
- розраховують виробничу продуктивність цехів, ділянок, ліній;
- доводять технологічні процеси до значень запроєктованих режимів виконання та норм, а також налагоджують обладнання та технологічне оснащення.

Головною і найбільш відповідальною частиною підготовки виробництва є проектування технологічних процесів та конструювання засобів технологічного оснащення. Найбільш трудомісткою роботою є проектування та виготовлення засобів технологічного оснащення, на долю якої припадає до 80% загальної трудомісткості підготовки виробництва.

Нові машини, що знайшли застосування в народному господарстві, супроводжуються сервісним обслуговуванням заводу-виробника, знаходяться під постійною увагою розробників та відповідних служб головного механіка підприємства-замовника продукції. Фахівці відділу головного механіка постійно слідкують за технічним станом нової машини, виявляють недоліки конструкції, встановлюють якість виробу, перевіряють показники надійності та регулярно повідомляють розробникам та виробникам результати

своїх спостережень, зауваження та пропозиції, що дозволяють удосконалити конструкцію машини.

Якщо нова машина, що запущена в серійне виробництво, проявляє при експлуатації суттєві недоліки, які негативно впливають на безпеку праці, стан навколишнього середовища і таке інше, то порушується питання про зняття такої машини з виробництва.

Конструктивна взаємодія, а не огульна критика, в процесі створення та експлуатації нової техніки між розробником, виробником та споживачем сприяє підвищенню технічного рівня машини, що експлуатується.

А коли треба приступати до роботи над наступною новою машиною? На це питання можна відповісти так: процес вдосконалення машин повинен бути безперервним (рис. 2.6). Нові покоління машин повинні розроблятися також безперервно, хоча це обумовлено перш за все принципово новими рішеннями наукових проблем машинобудування.

4.3 ПОШУК НОВИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ

*підходи до прийняття рішення; шляхи пошуку рішення;
оцінка технічного рішення; перевірка технічного рішення*

Технічне рішення – це структурна частина результату інженерної творчості, яка визначає принципові, схематичні, теоретичні рішення, що стосуються виробу, як технічної системи, і безпосередньо стосується конструкції, технології, принципу роботи чи матеріалу.

Технічне рішення подається у формі розкритої технічної ідеї, яку можна здійснити із залученням фахівців без застосування винахідництва. Рішення повинно бути практично можливим, корисним і працездатним.

Пошук нових технічних рішень при створенні об'єктів нової техніки є творчим процесом людської діяльності, в результаті якого створюються якісно нові матеріальні та духовні цінності. Цей процес характеризується перетворенням здобутого знання та досвіду в нову реальність, що більш повно задовольняє потреби суспільства.

Пошук нових технічних систем базується на основних принципах інженерного аналізу (підрозділ 3.3), які тут адаптовані до науково-дослідницького процесу творення технічних рішень.

Нагадаємо, що технічна творчість пов'язана з пошуком та творенням нових технічних рішень для об'єктів нової техніки з використанням фундаментальних теорій. Творення об'єктів нової техніки можливо лише при наявності розробленого на базі результатів прикладних досліджень технологічного процесу.

Прикладні дослідження, як уже було наголошено, ставлять перед

розробником нової техніки досить складні завдання – створити нову технічну систему на зовсім іншому фізичному принципі. Тому пошук нових технічних рішень при створенні об'єктів нової техніки є вельми важким та дуже відповідальним етапом вторгнення людини в невідомий простір, від результатів якого залежить доля майбутньої машини.

Проектування нової техніки можна починати лише за умови знаходження правильного технічного рішення, що відповідає сучасним вимогам.

Підходи до прийняття рішення

Однією з основних умов успішного вирішення технічних проблем та створення нової техніки є правильна постановка технічної задачі. Відомо, що технічна задача виходить з технічної проблеми, що виникає в процесі розвитку людського суспільства внаслідок наростання протиріч між потребами суспільства та можливостями сучасних технічних систем.

Існують два принципово різних підходи до розв'язання технічних задач:

- концептуальний креативний;
- формальний алгоритмічний.

Концепція (від англ. *conception* – задум, ідея, поняття) – визначений спосіб розуміння та трактування явищ, основна точка зору, керуюча ідея або ведуча задумка, конструктивний принцип різних видів діяльності.

Креатура (від лат. *creatura* – створення, творіння). «Креативний» означає творчий процес.

Формалізм – перевага, що віддається формі перед змістом у різних сферах людської діяльності.

Алгоритм (від лат. *algorithmi* – латинська транслітерація імені математика аль-Хоризми) – спосіб вирішення задачі, що точно пропонує як і в якій послідовності отримати правильний результат, що однозначно визначається вихідними даними.

Таким чином, словосполучення «концептуальний креативний підхід» можна трактувати, як принципово творчий підхід, а словосполучення – «формальний алгоритмічний підхід», як формальний спосіб вирішення поставленої задачі, що не припускає серйозного заглиблення в зміст технічної задачі.

Концептуальний креативний підхід полягає в тому, що технічну задачу розв'язують творчо на основі відомих законів фізики, які описують покладені в основу побудови майбутньої машини визначені фізичні явища.

Формальний алгоритмічний підхід передбачає розв'язання

технічної задачі відомими способами, що раніше зустрічалися в інженерній практиці.

Пошук нових технічних рішень для технічної системи, що розробляється, полягає в тому, щоб сучасними способами знайти раніше невідоме технічне рішення, що дозволяє отримати позитивний ефект і, таким чином, усунути проблемну ситуацію, що виникає внаслідок технічних та фізичних протиріч. У зв'язку з цим слід згадати, що при усуненні проблемної ситуації необхідно опиратися на фізичні ефекти та принципи усунення технічних протиріч, на прийоми запропоновані відомими винахідниками (підрозділ 3.2). Це допоможе ефективно та оперативно вирішити безліч технічних проблем.

Успішне створення нової технічної системи та термін її життєвого циклу більшою мірою залежить від того, наскільки правильно перед проектуванням виконано прогнозування.

У розділі 3 коротко згадано про підходи до прогнозування розвитку техніки. Тут зупинимося на деяких принципах прогнозування працездатності окремої технічної системи за прийнятим технічним рішенням. Нагадаємо, що інженерне прогнозування – не є передбаченням, це наукове теоретичне обґрунтування того, що повинно відбутися.

Слід пам'ятати, що конструктор нової техніки, який орієнтується на аналог, в тому числі й зарубіжний, що відповідає навіть найвищим світовим досягненням, автоматично спонукає свою майбутню технічну систему на відставання. Тому необхідно йти не у фарватері провідних зарубіжних фірм, а вибирати нові шляхи прискорення розвитку технічних систем, побудованих на нових принципах.

Тому інженерне прогнозування у підходах до прийняття рішень набуває особливо важливого значення, як частина науково-дослідницької роботи по підборі вихідних даних для розробки технічного завдання на створення нової техніки, яке включає:

- функціональне призначення;
- основні технічні та економічні параметри;
- можливі компоновальні схеми;
- нові матеріали та заготовки;
- нові технологічні процеси;
- нові верстати, технологічне оснащення та інше обладнання;
- нові форми керування виробництвом;
- потребу в машинах та допустимий план їх виробництва;
- побудову нових чи реконструкцію діючих машинобудівних потужностей.

Відомо багато методів складання прогнозів стосовно оцінки технічних рішень. З них на практиці в основному застосовують такі:

- метод екстраполявання тенденцій (перенос недавнього

минулого на майбутнє);

- анкетування незалежних думок;
- метод зважених оцінок;
- матричний метод «мета-засіб»;
- метод моделювання.

Процес прогнозування, виходячи з вимог точності, може бути поділений на такі три частини:

- детерміновану, що піддається точному розрахунку;
- ймовірну, що дозволяє встановлювати допустиму закономірність протікання процесу;
- миттєву, що не піддається розрахунку.

Співвідношення між цими частинами залежить від рівня пізнання процесу, що розглядається, та може змінюватися з часом. Науково-технічний прогрес сприяє підвищенню впливу детермінованої частини та зниженню впливу інших частин. Тому підвищення значимості детермінованої частини та точності ймовірної частини сприяють підвищенню загальної точності прогнозування. Прогнозувати можна не тільки технічну систему в цілому, а й окремі параметри машин, наприклад, масу, швидкість, тиск тощо.

Шляхи пошуку рішення

Пошук технічного рішення визначеної технічної задачі у вигляді структурної побудови майбутньої машини є творчим процесом, результат якого залежить від багатьох факторів, головними з яких є: науково-технічний потенціал інженерних кадрів, технічний рівень галузі, потреби народного господарства. І саме потреба є основним двигуном науково-технічного прогресу.

Перед початком розробки майбутньої машини (технічної системи), яка призначена для здійснення певного технологічного процесу, проводять інформаційний пошук можливих технічних рішень (більш детально розглянуто в розділі 5).

Мета інформаційного пошуку полягає в тому, щоб для визначеного виду техніки:

- виявити тенденцію та напрям розвитку;
- знайти охоронні документи на технічні рішення, що можуть служити аналогом для майбутньої машини;
- вивчити останні досягнення науки і техніки у визначеній галузі інженерної діяльності.

Ретельно проведений інформаційний пошук є запорукою успішного створення конкурентоспроможної машини, що буде користуватися попитом на світовому ринку.

За результатом інформаційного пошуку складають звіт, що повинен

в обов'язковому порядку містити висновки та рекомендації для розробника нової техніки про можливі шляхи структурної побудови майбутньої машини. Лише в такому випадку інформаційний огляд буде мати визначену цінність у знаходженні технічного рішення на нову технічну систему.

Кожна технічна задача, зі знаходження технічного рішення на майбутню технічну систему (машину) зазвичай здійснюється шляхом послідовного або послідовно-паралельного виконання таких кроків пошуку:

- знаходження (зародження) технічної ідеї;
- вибір фізичного принципу дії, тобто способу впливу на предмет виробництва;
- визначення оптимальних технологічних режимів вибраного способу впливу;
- пошук конструктивного рішення на технічну систему, що розробляється;
- проектування технічної системи;
- вибіркова експериментальна перевірка оригінальних збірних одиниць;
- остаточне прийняття технічного рішення відносно побудови технічної системи, що розробляється;
- корегування проектної документації на майбутню технічну систему відповідно до остаточно прийнятих технічних рішень.

І лише після виконання всіх перерахованих кроків (етапів) розробник нової технічної системи (ТС) має право приступити до розробки робочої конструкторської документації, тобто робочих креслеників, для виготовлення машини.

Технічна ідея зазвичай зароджується в процесі техніко-економічного аналізу технічної проблеми, в результаті чого з'являється та формується технічна задача.

Кроки щодо вибору фізичного принципу дії та визначенню оптимальних технологічних режимів належать до прикладних досліджень. Пошук технічних рішень на цих кроках здійснюється на лабораторних установках, як правило, без математичного планування експериментів з наступним техніко-економічним аналізом отриманих результатів.

Пошук конструктивного рішення виконують на підставі ретельного інформаційного огляду можливих способів вирішення поставленої технічної задачі шляхом застосування різноманітних творчих методів, наприклад, евристичних. Зазвичай результатом нового технічного рішення є технічна ідея структурної побудови та конструктивного виконання складових частин технічних систем, що розробляються.

Проектування є основним та найвідповідальнішим етапом

прийняття нового технічного рішення, в процесі виконання якого послідовно конкретизується творча ідея, що закладена у винахід, виявляються помилки та з'являються нові технічні ідеї. При цьому технічне рішення набуває закінченої форми та оформлюється у вигляді креслеників збірних одиниць та принципових схем. Основні творчі ідеї часто не можуть бути оцінені аналітичним шляхом, тому вимагають експериментальної перевірки.

Природно, що проектування супроводжується ретельним техніко-економічним аналізом прийнятих технічних рішень. Результати такого аналізу є основними критеріями оптимізації, згідно з якими технічна ідея продовжує жити або вмирає.

Вибіркову експериментальну перевірку оригінальних технічних рішень виконують на лабораторних установках, використовуючи методи математичного та фізичного моделювання. При цьому виготовляють натурні зразки окремих вузлів, при необхідності макетують виріб, проектують та виготовляють спеціальні лабораторні стенди. І лише після ретельної експериментальної перевірки оригінальних технічних ідей приймається остаточне технічне рішення та коригується проектна документація. Таким чином, завершується етап проектування.

Оцінка технічного рішення

Оцінку технічних рішень, тобто конструктивного виконання майбутньої машини, яка реалізує вибраний спосіб (фізичний принцип) впливу на предмет виробництва, зазвичай, проводять після ескізного проектування технічної системи. Тому ескізний проект виконують не менш ніж у двох варіантах.

Мета такої оцінки полягає в тому, щоб із кількості альтернативних рішень, що пропонуються, зупинитися на найбільш раціональному або оптимальному варіанті, який буде покладений в основу для технічного проектування виробу.

Оцінка технічних рішень (*ТР*) поставлених технічних задач є важким та відповідальним етапом, від якості виконання якого залежить доля майбутньої машини та економічна ефективність розробки. Тому оцінку виконують, як правило, провідні фахівці організації-розробника.

Технічне рішення майбутньої машини важко оцінити одним критерієм оптимізації, тобто таким одним технічним показником, який однозначно та вичерпно характеризує виріб, що розробляється. Технічні задачі по створенню об'єктів нової техніки зазвичай є багатокритеріальними, для оцінювання яких вимагається декілька технічних показників. Найбільш розповсюдженими технічними параметрами нової техніки є продуктивність, встановлена потужність, швидкість,

матеріалоемність, надійність, довговічність, ремонтпридатність, зручність технічного обслуговування, використання дефіцитних матеріалів, екологічна безпечність, технологічність, міцність конструкції, можливість використання в різних кліматичних поясах, транспортбельність, кількість обслуговуючого персоналу, безпека праці, естетичний вигляд, можливість утилізації тощо.

Вибір оптимального TP в умовах багатокритеріальної задачі зручніше всього робити за використанням так званої матриці рішень на основі компромісу, побудованого на принципах справедливої уступки.

У таблиці 4.1 показано загальний принцип побудови такої матриці. Верхній рядок матриці служить для розміщення зашифрованих параметрів оптимізації v_i і вагомості λ_i кожного з них у долях одиниці. У лівому стовпчику наведено номери варіантів x_i , що оцінюються. Кожний осередок матриці ділять на дві частини. Верхня частина осередку містить оцінку варіанта за кожним локальним параметром. У нижній частині осередку наводять добуток оцінювання варіанта на коефіцієнт вагомості.

Таблиця 4.1 – Матриця рішень

Варіанти TP	Оцінка параметра оптимізації v_i та його вагомості λ_i				$\sum_{i=1}^n v_i \lambda_i$	Місце в рейтингу
	v_1, λ_1	v_2, λ_2	...	v_n, λ_n		
x_1	v_{1x_1}	v_{2x_1}	...	v_{nx_1}	$\sum_{i=1}^n v_{ix_1} \lambda_i$	
	$v_{1x_1} \lambda_1$	$v_{2x_1} \lambda_2$	...	$v_{nx_1} \lambda_n$		
x_2	v_{1x_2}	v_{2x_2}	...	v_{nx_2}	$\sum_{i=1}^n v_{ix_2} \lambda_i$	
	$v_{1x_2} \lambda_1$	$v_{2x_2} \lambda_2$	...	$v_{nx_2} \lambda_n$		
x_3	v_{1x_3}	v_{2x_3}	...	v_{nx_3}	$\sum_{i=1}^n v_{ix_3} \lambda_i$	
	$v_{1x_3} \lambda_1$	$v_{2x_3} \lambda_2$	...	$v_{nx_3} \lambda_n$		
...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...		
x_m	v_{1x_m}	v_{2x_m}	...	v_{nx_m}	$\sum_{i=1}^n v_{ix_m} \lambda_i$	
	$v_{1x_m} \lambda_1$	$v_{2x_m} \lambda_2$	...	$v_{nx_m} \lambda_n$		

Оцінювання варіантів зазвичай виконують попарними порівняннями варіантів. Для цього всі варіанти, що розглядаються, послідовно розподіляють за кожним критерієм оптимізації. Спочатку знаходять найкращий варіант та присвоюють йому оцінку 10. Потім

порівнюють із ним решту варіантів технічного рішення. При цьому множину оцінок (1, 2, ..., 10) використовують як шкалу інтервалів. Простіше за все виконати порівняння, коли параметри оптимізації варіантів мають чисельні значення. Коли ж вони відсутні, то оцінку проводять, керуючись досвідом та інтуїцією.

Оптимальним варіантом буде такий, що має найбільшу суму добутків параметрів оптимізації на коефіцієнт вагомості, тобто

$$\bar{x} = \max \sum_{i=1}^n v_{ix_j} \lambda_i, \quad (4.1)$$

де λ_i – коефіцієнт вагомості параметра оптимізації в долях одиниці; v_{ix_j} – оцінка параметра оптимізації варіанта виконання за кожним критерієм у числах від 1 до 10.

Вибраний варіант технічного рішення в подальшому оцінюють за критерієм економічного ефекту. Мірою відповідності такому критерію є визначені показники, що за своєю структурою можуть бути одиночними або узагальнюючими. При порівнянні варіантів технічних рішень перевагу надають тому, від якого можна очікувати найбільшого економічного ефекту.

Крім цього способу знаходження оптимального варіанту *ТР*, застосовуються й інші підходи, наприклад, критерій питомих показників, дослідження на максимум та мінімум і таке інше.

Перевірка технічного рішення

Прийняті оригінальні технічні рішення, які стосуються конструктивного виконання нової машини, що розробляється та призначена для здійснення нового технологічного процесу, в обов'язковому порядку потребують перевірки шляхом проведення відповідних випробувань окремих складальних одиниць, а якщо необхідно, то і виробу в цілому.

Мета перевірки прийнятих *ТР* полягає в тому, щоб упевнитися в працездатності виробу та визначити, шляхом різних досліджень, відповідність конструктивного виконання основних складальних одиниць та машини в цілому до технічних вимог. Ці вимоги, що встановлюються технічним завданням на розробку та постановку виробу на виробництво, стосуються надійності, довговічності, продуктивності, точності, економічності, безпеки тощо.

Найбільш відповідальною перевіркою є перевірка прийнятих технічних рішень на стадії технічного проектування, коли необхідна однозначна конструктивна побудова виробу.

Природно, що перевірка рішень не починається та не закінчується на стадії технічного проектування, коли випробовують експериментальні зразки окремих виробів, а продовжується і на дослідних

зразках машини під час проведення заводських та приймальних випробувань. Знайдені в процесі проведення таких випробувань помилки виправляють шляхом відповідних корегувань робочої документації.

Після постановки виробу на виробництво перевірка прийнятих технічних рішень продовжується більш прискільки на серійних зразках в реальних умовах експлуатації протягом всього життєвого циклу виробу аж до його фізичного чи морального зносу.

Якщо технічні рішення не проходять перевірку випробуванням, то роботи по створенню нової машини зупиняються на будь-якому етапі, навіть якщо виріб запущено в серійне виробництво, і пошук нових *ТР* починають знову з виправленням допущених помилок.

Оцінюючи обсяги матеріальних витрат, щокладаються в розробку та постановку виробу на виробництво, етап перевірки прийнятих технічних рішень на стадії технічного проектування слід вважати найвідповідальнішим та найважливішим, від якості виконання якого залежить доля майбутньої машини.

Основними критеріями перевірки прийнятих технічних рішень, про що наголошувалось і раніше, залишаються результати моделювання та натурних випробувань.

Моделюванню надається перевага, оскільки оперативно та з меншими матеріальними витратами можна отримати необхідну інформацію про працездатність дійсного об'єкта дослідження при різних технологічних режимах.

Натурні випробування проводять на експериментальних зразках, що повністю відповідають об'єкту досліджень. Мета натурних випробувань полягає в тому, щоб визначити спроможність об'єкта дослідження здійснювати технологічні режими роботи, які гарантують безпечну експлуатацію (опис натурних випробувань подано в наступному підрозділі).

Перевірка прийнятих технічних рішень повинна закінчуватися конструктивною критикою, тобто поряд з недоліками необхідно зазначати і позитивні сторони технічних рішень, що дозволяє створити більш досконалу конструкцію машини. У випадку переваги негативних результатів перевірка прийнятих технічних рішень повинна бути не руйнівною, а творчою, що допомагає розробникам:

- зрозуміти допущені помилки;
- виявити можливі шляхи усунення допущених помилок;
- рекомендувати більш ефективні способи вирішення поставленої задачі.

Такий підхід дозволяє формувати в науково-дослідному центрі або іншій проектній чи інжиніринговій організації творчий

колектив спеціалістів різного профілю, які, взаємно доповнюючи один одного, здатні оперативно вирішувати складні технічні завдання щодо створення нової техніки.

І безумовно не потрібно недооцінювати всю значимість та відповідальність етапу перевірки прийнятих технічних рішень та його вплив на процес створення конкурентоспроможної техніки.

Однак серйозним випробовуванням для нової машини, що запущена в серійне виробництво, є робота машини в реальних умовах експлуатації на різних підприємствах – користувачах машинобудівної продукції.

Зрозуміло, що в практичній діяльності в розробника нової техніки нерідко виникають несподівані ситуації, що призводять до порушення запропонованого порядку пошуку нових технічних рішень та вимагають оригінального нестандартного способу творення. Творча основа інженерної праці як раз і полягає в тому, щоб на основі отриманих теоретичних знань та набутого досвіду результативно долати труднощі.

Враховуючи, що нова техніка формує машинний парк засобів технологічного оснащення, від стану якого безпосередньо залежить успішний розвиток всіх галузей народного господарства, можна з впевненістю сказати, що набуті знання та досвід конструкторів технічних систем може бути використаний й іншими фахівцями машинобудівного профілю при вирішенні у процесі інженерної діяльності інших технічних задач.

4.4 ПРИКЛАДНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

*Послідовність проведення досліджень; натурні випробування;
підготовка експерименту; планування експерименту;
обробка результатів експерименту*

Прикладні дослідження – це в основному експериментально-технологічні роботи, в процесі проведення яких виявляється один з ефективних та економічних способів впливу на предмет виробництва.

Мета прикладних досліджень полягає в тому, щоб визначити раціональні та оптимальні технологічні режими вибраного впливу, видати творцям нової техніки вихідні дані для розробки технологічного процесу та рекомендації відносно структурної побудови майбутньої машини.

Завдання прикладних досліджень полягає в тому, щоб із числа відомих механічних, фізичних, хімічних, теплових та інших явищ, що описуються відомими закономірностями, вибрати найбільш дієвий спосіб впливу на предмет виробництва, на основі якого може

бути побудована майбутня машина.

Традиційні методи досліджень, які пов'язані з експериментами, вимагають великих витрат, зусиль і засобів. Вони засновані на по черговому варіюванні окремих незалежних змінних при збереженні незмінними інших.

На прикладні дослідження покладається важлива та відповідальна частина роботи творення, від ефективності виконання якої залежить життєва здатність нової техніки та розвиток технічного прогресу. Тому дуже важливого значення набуває кваліфікація наукових співробітників та якісна підготовка науково-технічних кадрів.

Послідовність проведення досліджень

Зазвичай прикладні дослідження проводять відповідно до стратегічних планів розвитку галузі, що визначаються технічними проблемами і які розробляються на основі останніх досягнень науки і техніки.

Прикладні дослідження, як правило, виконують у такій пропонуваній тут послідовності:

- інформаційний пошук можливих способів впливу на предмет виробництва, тобто механічних, фізичних, хімічних, теплових та інших явищ, для вирішення поставленої мети;
- техніко-економічний аналіз можливих способів;
- вибір та критика аналогів, визначення напрямів дослідження;
- проектування лабораторних установок;
- розробка програми та методики проведення досліджень;
- проведення експериментів;
- аналіз отриманих результатів;
- оцінка та вибір способу впливу на предмет виробництва;
- визначення оптимальних технологічних режимів вибраного впливу;
- складання звіту про проведене дослідження;
- підготовка та надання рекомендацій для розробників нової техніки щодо використання результатів прикладних досліджень.

Натурні випробовування

Натурні випробовування об'єкта це такий вид фізичного випробування, який проводиться відповідно до умов його використання за прямим призначенням з безпосереднім оцінюванням чи контролем визначуваних характеристик властивостей об'єкта.

Натурні випробовування, як уже наголошувалося, є класичним методом перевірки прийнятих технічних рішень на експериментальних зразках, які виготовлені в натуральну величину. Після технічного

проектування розробляють робочу конструкторську документацію на виготовлення експериментальних зразків окремих складальних одиниць, що підлягають перевірці, а якщо необхідно, то і виробу в цілому. Складають також маршрутні технологічні карти процесів на виготовлення деталей та складальних вузлів.

Експериментальний зразок є аналогом дослідного зразка, але на відміну від останнього має розміщені в різних місцях датчики первинної інформації, за допомогою яких у процесі проведення випробувань збирають вихідні дані про стан окремих деталей та вузлів.

Натурні випробовування потребують спорудження спеціальних випробувальних полігонів, виготовлення автономних випробувальних боксів, створення випробувальних стендів тощо, які оснащують різноманітними вимірювальними пристроями та приладами. Випробувальні бокси та стенди повинні забезпечувати задані необхідні умови: температуру, вологість, запиленість, загазованість, наявність хімічно агресивних речовин, вібрацію, електромагнітні випромінювання, радіоперешкоди тощо. Вони повинні відтворювати вплив випадкових факторів та володіти здатністю імітувати аварійні ситуації.

Проведення випробувань вимагає наявності висококваліфікованих фахівців з випробовувань різного профілю: механіків, гідравликів, пневматиків, електриків, електронників тощо.

Експериментальні зразки випробовує розробник за своїм внутрішніми документами, що визначаються технічним завданням на розробку нової техніки.

За результатами досліджень складаються відповідні акти та протоколи випробувань з переліком виявлених помилок та недоліків, допущених у процесі проектування, а також робиться висновок про доцільність подальшого продовження робіт щодо створення нової машини. Керуючись останньою вимогою, всі випробовування доручають проводити фахівцям відповідного профілю, які здатні оцінити конструкторську ідею.

Викладене свідчить про те, що натурні випробовування технічних систем є важким, громіздким, відповідальним та дорогим заходом.

Випробувальне обладнання повинно бути першокласним та високого технічного рівня, що дозволяє отримати від об'єкта випробувань найбільш достовірну інформацію про працездатність, надійність, довговічність тощо.

Необхідно зазначити, що після постановки на виробництво кожную машину серійного виготовлення перед відправкою замовнику обов'язково піддають заводським випробуванням, про що

складають відповідні документи та роблять відповідні відмітки в паспорті або у формулярі на машину. Таким чином, ефективність прийнятих під час проектування технічних рішень надалі постійно перевіряється на заводі-виробнику.

Випробування дослідних натурних зразків виконується на основі розробленої проектантом програми та методики випробовування, погодженої із замовником і затвердженої за встановленою формою. Програма та методика випробувань є обов'язковим директивним нормативно-технічним документом для дослідного зразка виробу, виконання якого гарантує якісну перевірку прийнятих технічних рішень, і який повинен містити:

- назву виробу;
- обсяг випробовування;
- терміни проведення;
- мету випробовування;
- технологічні режими;
- місце проведення;
- показники, що вивчаються;
- вимірювальні засоби;
- експериментальні стенди;
- умови випробування;
- кваліфікацію випробовування;
- форму звітності тощо.

Тут не акцентується увага на інших видах випробувань, які супроводжують процес творення нової техніки

Підготовка експерименту

Експеримент є найбільш важливою складовою частиною науково-дослідницької роботи. Термін «експеримент» (англ. *experiment*) походить від латинського слова *experimentum*, що в перекладі означає спроба, дослідження. Застосовується для позначення низки однорідних понять: дослід, цілеспрямоване спостереження, відтворення об'єкта дослідження, створення особливих умов існування, перевірка того, що передбачається. Таким чином, поняття «експеримент» означає проведення у визначених умовах серії дослідів для спостереження за станом об'єкта дослідження.

Експеримент – це форма пізнання об'єктивної дійсності, яка є одним із основних методів наукового дослідження явищ. Це науковий метод дослідження, який при повторенні в однакових умовах необмежену кількість разів дає ідентичні результати. Тобто це метод вивчення, який полягає у відтворенні визначеного явища (чи його зміни) в штучно створених (лабораторних) умовах з метою

дослідження і з'ясування процесу його розвитку. Тому важливими характеристиками експерименту є його надійність та валідність. При цьому умови, що створюються, повинні дозволяти слідкувати за зміною стану об'єкта дослідження та давати можливість відтворення дослідів шляхом повторення.

Експеримент відрізняється від спостереження активною взаємодією з досліджуванним об'єктом. Зазвичай експеримент проводиться в рамках наукового дослідження і слугує для перевірки гіпотези, встановлення причинно-наслідкових зв'язків між явищами. Експеримент є базою емпіричного підходу до знань.

Основною метою проведення експерименту є визначення фізичних, хімічних, механічних та інших властивостей об'єкта, що досліджується, у визначених умовах та перевірка справедливості існуючих і прийнятих гіпотез про поведінку об'єкта дослідження у заданих умовах. На цій основі глибоко вивчають результати дослідження.

Схематично об'єкт на якому проводять експеримент може бути подано у вигляді «чорного ящика», описаного Н.Вінером як невідомої системи (рис. 4.1). Параметри умов, що діють на об'єкт, який досліджується, та здатні змінювати його стан, називають факторами x_i . Фактори бувають змінними (тими, що змінюються), постійними та некерованими або збуджувальними.

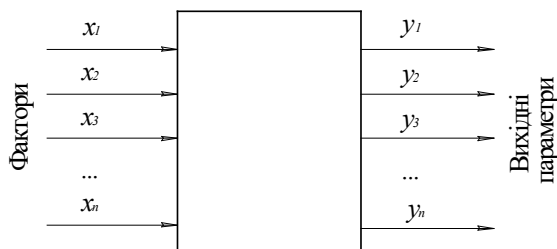


Рисунок 4.1 – Модель області експерименту

Зміна стану об'єкта дослідження під впливом змінних факторів характеризується вихідними параметрами y_i . Таким чином, експериментом можна називати сукупність дослідів, що направлені на виявлення залежності вихідних параметрів від факторів, що діють на об'єкт дослідження.

Залежно від кількості факторів, що діють на об'єкт дослідження, експеримент буває одно факторним або багатфакторним. У переважній більшості експерименти є багатфакторними і пов'язані з оптимізацією якості матеріалів, відшукуванням оптимальних умов проведення технологічних процесів, розробкою найбільш раціональних

конструкцій устаткування і так далі. Системи, які служать об'єктом таких досліджень, дуже часто є такими складними, що не піддаються вивченню в розумні терміни.

У якості вихідних параметрів, що характеризують стан об'єкта дослідження для технологічних процесів машинобудування, зазвичай, виступають геометричні розміри, маса, форма, продуктивність, якість поверхні, точність, міцність, зносостійкість, собівартість тощо.

Перед проведенням експериментів необхідно визначити:

- геометричні розміри, форму та масу зразків, що досліджуються;
- способи встановлення та зняття зразків у відповідні пристосування;
- кількість зразків для проведення кожного експерименту (повинно бути не менш ніж два);
- способи та методи вивчення стану об'єкта дослідження за допомогою відомих приладів та методів (аналітичних ваг, метрографічних та електронних мікроскопів, профілометрів-профілографів, рентгеноструктурного та рентгеноспектрального аналізів тощо);
- технічний стан лабораторної установки та правила безпеки обслуговуючого персоналу;
- графік проведення експерименту;
- кваліфікацію та кількість виконавців.

Перед проведенням експериментів необхідно також встановити:

- змінні фактори, що будуть впливати на зміну стану об'єкта дослідження;
- технічні показники, що характеризують стан об'єкта дослідження, та є вихідними параметрами.

Бажано, щоб вихідним параметром був один технічний показник. У цьому випадку його називають критерієм оптимізації.

Критерієм оптимізації є такий технічний показник, що найбільш повно та однозначно характеризує стан об'єкта дослідження. Однак практичні задачі в більшості випадків є багатокритеріальними, тобто такими, що потребують для оцінки стану об'єкта використання декількох технічних показників. Так, наприклад, машинобудівні вироби характеризуються такими технічними показниками, як: розмірна точність, правильність геометричної форми, шорсткість поверхні, твердість поверхневого шару, абразивна стійкість, хімічна стійкість тощо.

У якості змінних факторів при вивченні технологічних процесів машинобудівного виробництва, як правило, приймають технологічні режими: різання, ковки, штамповки, зварювання, формування,

литва тощо. Так, наприклад, технологічними режимами різання є швидкість різання, подача, глибина різання тощо.

Планування експерименту

Роботу з планування експерименту починають зі збору апіорної інформації. Аналіз цієї інформації дозволяє отримати уявлення про параметри оптимізації, про фактори, про найкращі умови ведення дослідження, про характер поверхні відгуку і так далі. Апіорну інформацію можна отримати з літературних джерел, з опитування фахівців, шляхом виконання однофакторних експериментів. Останні, на жаль, не завжди можливо здійснити, тому що можливість їх здійснення обмежена вартістю дослідів, їх тривалістю. На основі аналізу апіорної інформації робиться вибір експериментальної області факторного простору, який полягає у виборі основного (нульового) рівня і інтервалів варіювання факторів.

Через відсутність реальної можливості досить повно вивчити значну кількість об'єктів дослідження, як наслідок, багато рішень приймаються на підставі інформації, що має випадковий характер, і тому далекі від оптимальних. Тому виникає необхідність пошуку шляху, що дозволяє вести дослідницьку роботу прискореними темпами і забезпечує прийняття рішень, близьких до оптимальних. Завдяки цьому з'явилися статистичні методи планування експерименту, запропоновані англійським статистиком Рональдом Фішером. Він вперше показав доцільність одночасного варіювання всіма факторами в протиположності широко поширеному однофакторному експерименту.

Застосування планування експерименту істотно сприяє підвищенню продуктивності праці і надійності отриманих результатів. Важливою перевагою є його універсальність, придатність в величезній більшості областей досліджень.

Завдання, для вирішення яких може використовуватися планування експерименту, надзвичайно різноманітні. До них відносяться: пошук оптимальних умов, побудова інтерполяційних формул, вибір істотних чинників, оцінка та уточнення констант теоретичних моделей, вибір найбільш прийнятних з деякої безлічі гіпотез про механізм явищ, дослідження діаграм стану і так далі.

Планування експерименту здійснюється шляхом вибору кількості та умов проведення дослідів, необхідних та достатніх для вирішення поставленого завдання із заданою точністю.

Під час дослідження технологічних процесів у більшості випадків на об'єкт дослідження одночасно діють декілька змінних факторів, що відповідає вимогам багатфакторного експерименту.

При цьому є можливими два методи планування експерименту:

- класичний метод, згідно з яким вивчають вплив на об'єкт дослідження кожного з факторів окремо, змінюючи його значення та фіксує решту факторів на незмінному рівні;
- математичний метод, який дозволяє вивчати вплив на об'єкт дослідження одночасно всіх факторів, змінюючи їх рівні за відповідним наперед розробленим планом.

У практиці планування експериментальних досліджень використовуються обидва методи, однак другий має низку переваг, а саме:

- суттєво зменшується необхідна кількість дослідів при наявності великої кількості змінних факторів;
- математичний опис процесу здійснюється у вигляді єдиного рівняння, що містить всі змінні фактори, тоді як при першому методі кількість рівнянь, що описують процес, рівна кількості змінних факторів.

Вибір плану експерименту значною мірою залежить від обсягу початкової інформації про об'єкт, що досліджується. Така інформація може бути отримана після вивчення першоджерел у вигляді результатів експериментальних досліджень в суміжних галузях або у вигляді раніше проведених теоретичних досліджень.

Основним завданням математичного планування експерименту є розробка багатофакторних планів, які забезпечували б можливість отримати достатньо точну модель процесу у вигляді одного рівняння з мінімальною кількістю дослідів. При вирішенні цього завдання використовують математичні моделі дослідження. Під математичною моделлю розуміємо рівняння, що зв'язує параметр оптимізації з факторами. Це рівняння (функція відгуку) в загальному вигляді можна записати так:

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (4.2)$$

де $x_1, x_2, \dots, x_n$ – змінні фактори, що діють на досліджуваний об'єкт (рис. 4.1).

Вибрати модель – означає знайти вид функції, написати її рівняння, яке називають рівнянням регресії. При цьому найбільш характерними рівняннями регресії, що описують кожен з факторів, є такі:

$$\begin{aligned} \text{лінійне:} & \dots\dots\dots Y = a + bx, \\ \text{поліноміальне:} & \dots\dots\dots Y = bx^2 + cx + a, \\ \text{степеневе:} & \dots\dots\dots Y = a + bx^c, \\ \text{логарифмічне:} & \dots\dots\dots Y = b \ln x + a, \\ \text{експоненціальне:} & \dots\dots\dots Y = be^{ax}, \end{aligned} \quad (4.3)$$

де a, b, c – коефіцієнти регресії.

Наприклад, рівняння регресії для двох змінних факторів може

бути записане у вигляді:

$$\text{лінійної залежності: } Y = a_{12} + b_1x_1 + b_2x_2,$$

неповного квадратного рівняння:

$$Y = a_{12} + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2, \quad (4.4)$$

рівняння другого порядку:

$$Y = a_{12} + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2,$$

де $a_{12}, b_1, b_2, b_{12}, b_{11}, b_{22}$ – коефіцієнти регресії.

Тоді залишиться спланувати і провести експеримент для оцінки числових значень констант (коефіцієнтів) цього рівняння.

Для вибору напряму та умов експерименту перш за все необхідно вияснити кількість змінних факторів та визначити інтервали їх варіювання. Ця процедура є достатньо важливим етапом наукового дослідження. Вона вирішується на базі всебічного вивчення явища, що досліджується, літературних джерел, проведення теоретичного аналізу, практичного досвіду та в кожному випадку носить творчий індивідуальний характер.

Після прийняття рішення про вихідний параметр та про змінні фактори, вплив яких передбачається дослідити, а також про межі зміни значень кожного з них, виконують кодування факторів.

Заміна натуральних значень факторів у відповідних одиницях виміру безрозмірними кодовими значеннями спрощує план експерименту та процес статистичної обробки експериментальних даних. Кожному фактору присвоюють у тій самій послідовності, що і натуральним, кодові значення. Найбільше значення кожного фактору позначають «+1» та називають його верхнім рівнем, а найменше значення позначають «-1» та називають його нижнім рівнем. Середнє значення позначають «0» – це середній (основний) рівень.

Під час складання плану експерименту та обробки експериментальних даних всі фактори, незалежно від фізичної суті та числових значень, будуть мати однакові кодові значення (+1, 0, -1). Для отримання лінійного або неповного квадратного рівняння регресії використовують плани першого порядку, а для отримання моделі у вигляді квадратного рівняння регресії – плани другого порядку.

Повним факторним планом (ПФП) називають план першого порядку, де реалізуються всі можливі з'єднання двох рівнів змінних факторів (верхнього та нижнього). Кількість дослідів у цьому випадку визначається за формулою:

$$N = p^k, \quad (4.5)$$

де p – кількість рівнів; k – кількість змінних факторів.

Розглянемо для наочного прикладу технологічний процес дробоструминного очищення металевої поверхні, для дослідження

якого складемо ПФП.

У даному випадку функцією відклику, тобто вихідного параметра, значення якого необхідно визначити, є висотний параметр шорсткості обробленої поверхні Ra – середнє відхилення висоти мікронерівностей. Вихідний параметр залежить від двох змінних факторів:

- кута атаки повітряно-абразивним факелом поверхні, що обробляється, α ;
 - швидкості атаки дробинками поверхні, ν .
- Постійними факторами є:
- дріб стальна колота марки ДСК-17 фракція 1;
 - тривалість обробки до стану поверхні «чисто», тобто $t = const$.

Позначивши $Ra = Y$, $\alpha = x_1$, $\nu = x_2$, записуємо математичну модель процесу дробоструминного очищення в загальному вигляді:

$$Y = f(x_1, x_2). \quad (4.6)$$

Наше завдання полягає в тому, щоб отримати рівняння регресії для двох змінних факторів x_1 та x_2 , що записується у вигляді неповного квадратного рівняння (4.4):

$$Y = a_{12} + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{12} x_1 x_2. \quad (4.7)$$

Після прийняття рішення про вихідний параметр Y та про змінні фактори x_1 та x_2 , вплив яких намагаємося дослідити, кодуємо фактори. Натуральними значеннями факторів є:

$$\begin{aligned} \alpha &= 30, 45, 60, 75, 90 \text{ (град)}, \\ \nu &= 50, 100, 150, 200, 250 \text{ (м/с)}. \end{aligned}$$

Найбільше значення позначаємо (+1) та його називаємо верхнім рівнем, а найменше значення позначимо (-1) та називаємо нижнім рівнем. Середнє значення позначимо (0) – це буде основний рівень. Таким чином, маємо такий взаємозв'язок натуральних та кодованих значень (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Взаємозв'язок факторів

Фактор	Код	Чисельне значення, град.	Рівень	Фактор	Код	Чисельне значення, м/с	Рівень
α	x_1	30	-1	ν	x_2	50	-1
α	x_1	45		ν	x_2	100	
α	x_1	60	0	ν	x_2	150	0
α	x_1	75		ν	x_2	200	
α	x_1	90	+1	ν	x_2	250	+1

Перехід до натуральних значень факторів виконують після закінчення статистичної обробки даних. Такий підхід дозволяє суттєво полегшити та спростити складання ПФП.

При дослідженні впливу двох змінних факторів, що має місце в нашому випадку, можливе поєднання факторів, тобто кількість дослідів, згідно з формулою (4.5), для здійснення ПФП, буде дорівнювати $N = p^k = 2^2 = 4$.

На основі викладеного будують матрицю повного факторного плану в позначеннях перебору рівнів «-1» та «+1», нехтуючи конкретними діапазонами зміни кожного з факторів. В таблиці 4.3 наведена план-матриця типу 2^2 проведення дослідів у кодованих позначеннях.

Таблиця 4.3 – Розгорнута план-матриця ПФП типу 2^2

Номер дослідів	Фактори		Взаємодія факторів x_1x_2	Функція Y
	x_1	x_2		
1	-1	-1	+1	Y_1
2	+1	-1	-1	Y_2
3	-1	+1	-1	Y_3
4	+1	+1	+1	Y_4

Кожен стовпець у матриці планування називають вектор-стовпцем, а кожен рядок – вектор-рядком. Таким чином, в таблиці 4.3 ми маємо два вектори-стовпці незалежних змінних і один вектор-стовпець параметра оптимізації.

Основними характерними властивостями план-матриці в кодованих позначеннях, що визначають точність результатів та сферу застосування відповідних планів для побудови математичних моделей, є: симетричність, нормованість, ортогональність, рототабельність (для лінійної моделі), уніформальність, композиційність. Наведений приклад ПФП відповідає перерахованим вимогам.

Обробка результатів експерименту

При проведенні експериментальних досліджень особливе місце належить аналізу отриманих результатів, на підставі якого роблять висновки про підтвердження гіпотез наукового дослідження. З одного боку, не отримати з експерименту все, що з нього випливає, – значить знехтувати нелегкою працею експериментатора. З іншого боку, зробити твердження, що не впливають з експерименту, – значить створювати ілюзії, займатися самообманом.

Метою будь-якого експерименту є визначення якісної і кількісної оцінки зв'язку між досліджуваними параметрами, або числового значення будь-якого окремого параметра.

Як правило, результати експериментальних досліджень

потребують певної математичної обробки. Нині процедура статистичної обробки експериментальних даних досить добре формалізована і досліднику необхідно тільки її правильно використовувати. Коло питань, що вирішуються при обробці результатів експерименту, не так уже й широке. Це – питання підбору емпіричних формул і оцінка їх параметрів, питання оцінки істинних значень вимірюваних величин, точності вимірювань, питання дослідження кореляційних залежностей і деякі інші.

Методами статистичної обробки результатів експерименту називаються математичні прийоми, формули, способи кількісних розрахунків, за допомогою яких показники, отримані в ході експерименту, можна узагальнювати, приводити в систему, виявляючи приховані в них закономірності. Мова йде про такі закономірності статистичного характеру, які існують між досліджуваними в експерименті змінними величинами.

Одні методи математико-статистичного аналізу дозволяють обчислювати так звані елементарні математичні статистики, що характеризують вибірковий розподіл даних, наприклад, вибіркове середнє, вибіркова дисперсія, мода, медіана і ряд інших. Другі методи математичної статистики, наприклад, дисперсійний аналіз, регресійний аналіз та деякі інші дозволяють судити про динаміку зміни окремих статистик вибірки. За допомогою третьої групи методів, скажімо, кореляційного аналізу, факторного аналізу, методів порівняння вибіркових даних можна достовірно судити про статистичні зв'язки, що існують між змінними величинами, які досліджують у даному експерименті.

У деяких випадках вид залежності між змінними величинами відомий за результатами теоретичних досліджень. Як правило, формули, що виражають ці залежності, містять деякі постійні, значення яких і необхідно визначити з дослідів.

Іншим видом завдання досліджень є визначення невідомої функціональної залежності між змінними величинами на основі даних експерименту. Такі залежності називають емпіричними.

Однозначно визначити невідому функціональну залежність між змінними неможливо навіть в тому випадку, якщо б результати експерименту не мали помилок. Тим більше, не слід було б цього очікувати, маючи не зовсім достовірні результати експерименту.

Тому слід чітко розуміти, що метою математичної обробки результатів експерименту є не знаходження істинного характеру залежності між змінними або абсолютної величини будь-якої константи, а представлення результатів спостережень у вигляді найбільш простої формули з оцінкою можливої похибки її використання.

Отримання адекватної моделі пов'язане з виконанням таких основних дій:

- визначення оновлюваності результатів рівняння регресії;
- розрахунок та оцінка значимості коефіцієнтів рівняння регресії;
- визначення рівня відповідності отриманої математичної моделі експериментальним даним, тобто перевірка адекватності рівняння регресії.

Для наочності інтерпретації рівняння регресії графічно зображують часткові перерізи гіперповерхні, яка описується цим регресійним рівнянням. При цьому, наприклад, по координатних осях відкладають значення двох факторів, а значення відгуку зображують параметрично, у вигляді групи кривих.

Встановлена адекватна модель дозволяє отримати дані для будь якої точки факторного простору, задіяного в цій серії експериментів.

Проте, незважаючи на адекватність моделі в цілому, вплив окремих чинників на результат може передбачатись неправильно. Тому на практиці часто необхідно встановити вплив кожного з чинників, перевіряючи їх значущість (адекватність).

Така перевірка (на узгодженість) має на увазі, що досліджувана випадкова величина відповідає закону, що розглядається. Критерій узгодженості можна також сприймати як критерій значущості.

Статистична обробка результатів експерименту здійснюється з використанням відповідних критеріїв узгодження (наприклад, Колмогорова, Пірсона та інших), які використовуються для перевірки гіпотези про закон розподілу. Наприклад, чи відповідають два емпіричних розподіли одному закону або чи відповідає емпіричний розподіл певній моделі тощо.

При цьому отримують:

- математичну статистичну модель у вигляді полінома;
- графік Парето, який показує значимість складових полінома (моделі);
- перетини гіперповерхонь цільової функції;
- контурні криві гіперповерхонь цільової функції;
- значення критеріальних оцінок адекватності статистичної моделі.

Сьогодні всі операції по обробці результатів планованого експерименту виконують за допомогою стандартних програм (наприклад, *Statgraphics*)

Таким чином, аналізуючи результати проведених експериментів, дослідник приходить до певних висновків про фізичну суть явищ, що вивчалися. Роздуми в цьому напрямку переходять у гіпотезу. Якщо гіпотеза підтверджується практичними результатами,

то вона стає теорією. Теорія дає можливість розробникам нової техніки створювати більш вдосконалені технічні системи.

4.5 ОСНОВНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ МАШИН

покращення основних характеристик машин; удосконалення конструкції механізмів та технології їх виготовлення; створення похідних машин

Машинобудування покликане оснащувати всі галузі економіки високопродуктивними, економічними та безпечними машинами, приладами та іншими видами обладнання, які відповідають інтенсифікації технологічних процесів та невинно зростаючій багатогранності взаємодії людини з навколишнім середовищем. Підвищення якості й ефективності машинного парку здійснюється за рахунок розширення номенклатури машин, їх спеціалізації та підвищення надійності.

Розширення номенклатури машин. Безперервне розширення номенклатури машин обумовлено виникненням нових напрямів людської діяльності, а також необхідністю й доцільністю спеціалізації машин залежно від конкретних технологічних й експлуатаційних вимог.

Створення нових конструкцій машин на всіх етапах розвитку машинобудування було зумовлено передусім полегшенням людської праці і підвищенням її ефективності – збільшенням продуктивності, зменшенням енергетичних витрат на одиницю продукції, підвищенням якості виробу. У сучасних умовах вказані задачі вирішуються передусім за допомогою часткової або повної автоматизації виробничих процесів.

Поряд із прагненням полегшити фізичну працю людини або навіть повністю її усунути, пропонується інша, вагоміша ціль – заміна людини машинами, що здатні логічно обирати оптимальний варіант виробництва та управління. Вишукуються шляхи створення роботів, які реагують на інформацію в більш широкому спектрі впливу, ніж людина; обговорюються та досліджуються можливі шляхи створення роботів, які володіють штучним інтелектом, самі розвиваються та навчаються.

Спеціалізація машин. Спеціалізація – форма раціональної організації промисловості, що забезпечує скорочення номенклатури і збільшення серійності машин на конкретному виробництві.

Розвиток машинобудування на всіх етапах супроводжувався спеціалізацією машин, що мала на меті їх оптимальне пристосування до виконання конкретних виробничих функцій. У зв'язку з цим в межах одного і того ж виду машин застосовуються конструкції пристосовані до різних умов експлуатації. Спеціалізація машин диктується також вимогами найбільш доцільної в цей час технології виробництва.

Підвищення надійності. Проблема підвищення ефективності

виробництва і якості продукції висуває одну з головних цілей – підвищення надійності виробів.

Надійним є виріб, який у заданих умовах експлуатації протягом передбаченого проміжку часу (або наробітку) здатний виконувати свої функції в межах заданих якісних показників.

Вимоги до надійності машин визначаються такими факторами: призначенням, відповідальністю, вартістю, кількістю, умовами експлуатації та багатьма іншими.

Покращення основних характеристик машин

Покращення основних характеристик машин досягається за умов:

- підвищення продуктивності, *ККД* та точності;
- збільшення одиничної потужності та швидкості;
- зменшення питомих показників маси і габаритів.

Підвищення продуктивності, ККД та точності. Ця умова найкраще характеризує досконалість конструкції та рівень машинобудування.

Підвищення продуктивності машин – одна з головних вимог створення нової техніки. Підвищити продуктивність можливо завдяки застосуванню нових схем машин або нових систем приводу.

Наприклад, завдяки заміні в екскаваторах механічного приводу гідравлічним, продуктивність виросла на 20...60%, а металомісткість деяких типів екскаваторів зменшилася вдвоє.

ККД двигунів внутрішнього згорання збільшився з 0,23 (у 1913 р.) до 0,50 у сучасних двигунах з турбонаддувом.

Заміна черв'ячного редуктора з *ККД* рівним 0,75...0,8 на зубчатий з *ККД* – 0,97 при потужності 100 *кВт* і роботі протягом 5000 годин дає економію електроенергії в 110 *МВт*.

Значна увага приділяється досягненню високої точності в окремих видах деталей і обладнання, на якому ці деталі виготовляються. Для передачі потужності в тисячі *кВт* при високих колових швидкостях точність елементів зачеплення зубчастих передач повинна знаходитись в межах декількох мікрон. Тому для цього проектують та випускають нові верстати, які дозволяють досягати точності утворення профілю зубів в межах 1 *мкм*.

Сучасні комп'ютерні технології дозволяють створювати високоточні станки з розрахунковою точністю до сотих мікрона.

Збільшення одиничної потужності та швидкості. Концентрація потужності – природна тенденція, що диктується вимогами росту продуктивності й економічності машин. Ця тенденція обумовлена ростом навантажень на виконуючі органи машин та значними робочими швидкостями технологічних процесів.

Тенденція «концентрації потужності» може бути проілюстрована багатьма прикладами. Зокрема, заміна турбін сумарною потужністю $3 \cdot 10^5 \text{ Вт}$ однією турбіною аналогічної потужності призводить до росту продуктивності та зниженню собівартості електроенергії на 35%.

Концентрація потужності спостерігається і в автотранспортному виробництві: автомобільні крани випускають вантажопідйомністю до 1,25 МН, автомобільні самоскиди мають вантажопідйомність до 2,0 МН.

Збільшення робочих швидкостей є також ефективним методом підвищення продуктивності машин. Експлуатаційна швидкість автомобілів зросла з 15...30 км/год. на початку ХХ століття до 160...220 км/год. в наш час. Швидкість прокатування сталевих стрічки з 1,0 м/с в 1930 році зросла у наші дні до 10 і 50 м/с при гарячому та холодному прокатуванні відповідно; швидкість різання при обробці сталі на верстатах в 1990 році була 30 м/хв., а тепер досягнуто величини 1000 м/хв.

Тенденція збільшення потужності і швидкості позначилась і на параметрах навантажень окремих деталей. З ростом навантажень збільшуються розміри машин і їх деталей. У зв'язку з цим при проектуванні нової техніки отримує поштовх до розвитку теорія подібності (для правильної оцінки лабораторних випробувань), удосконалюються методи надійної оцінки міцності конструкційних матеріалів з врахуванням впливу режимів навантаження, форми, абсолютних розмірів, стану поверхні та інших факторів, що впливають на несучу здатність деталей машин.

У зв'язку з неперервним ростом потужності й швидкості робочих органів часто виникають нові вимоги спеціального характеру до умов їх експлуатації, перед усім забезпечення належних умов безпеки праці.

Зменшення питомих показників маси і габаритів. Питомі показники маси і габаритів на одиницю продуктивності або на одиницю встановленої потужності є вирішальним фактором, що визначає ефективність машини. Домагаючись зниження питомих показників, досягається економія матеріалів, зменшення трудомісткості виробів, енергетичних витрат, знижуються витрати при транспортуванні, полегшується експлуатація машин.

Деякі конструкції можна втілити в життя тільки за використання високоміцних матеріалів, так як при використанні широкоживаних традиційних матеріалів може бути абсолютно неприйнятною велика маса та/або габарити конструкції. Також значного зменшення маси і габаритів можна досягнути новими конструктивними рішеннями.

Тенденція зниження питомих вагових характеристик має вирішальне значення в першу чергу для транспортних машин. Особливо яскраво ця тенденція проявилась з розвитком конструкцій двигунів. За

останні 30...50 років маса на одиницю потужності зменшилась: дизелів – у 10 разів; електродвигунів малої потужності – у 20 разів; поршневих двигунів для літальних апаратів – в 50. Тільки за останні 20...30 років металомісткість турбін зменшена на 25...30%.

Зменшення металомісткості продукції машинобудування всього на 1% забезпечує нині близько $5 \cdot 10^5$ тонн економії чорних металів.

Удосконалення конструкції механізмів та технології їх виготовлення

Удосконалення конструкції механізмів та технології їх виготовлення досягають шляхом:

- підсилення взаємозв'язку конструктивних і технологічних рішень;
- перспективного розвитку конструкцій;
- стандартизації і нормалізації.

Підсилення взаємозв'язку конструктивних і технологічних рішень.

У покращенні характеристик машин вирішальна роль належить проектувальникам і конструкторам, які зобов'язані на етапі проектування знайти оптимальні рішення для створення кінематичних і конструктивних схем виробів; визначити конструктивні форми окремих деталей. У зв'язку з цим, особливої уваги набувають конструктивні й технологічні методи регулювання напружених станів, обумовлених зовнішніми навантаженнями, а також умовами контактування та зношування.

До конструктивних методів регулювання напружених станів належать технічні заходи, направлені на зменшення концентрації напружень у небезпечних перерізах. Це досягається застосуванням оптимальних форм деталей, найсприятливіших співвідношень розмірів сусідніх ділянок однієї і тієї ж або спряжених частин виробів; використанням «деконцентраторів» напружень; вибором конструктивних рішень, що виключають виникнення місцевих зсувів, фретинг-корозії та інших факторів, що сприяють зародженню втомних тріщин і таке інше.

У науці про творення машин особливе місце посідає проблема тертя і зношування. Вивчення цих проблем сприяє втіленню у практику прогресивних підходів до управління процесами зношування як основи для конструювання практично не зношуваних вузлів.

Тому до технологічних методів регулювання напружених станів належать й технічні заходи, направлені на широке застосування поверхневого зміцнення деталей машин, що обумовлене технологічними можливостями збільшення міцності поверхневих шарів і створення в них залишкових напружень стискання. Роль поверхневих шарів у

забезпеченні міцності деталей машин висока, оскільки в них, як правило, зароджуються концентратори руйнування, виникають контактні напруження при спряженні деталей, відбувається процес зношування і передусім проявляється вплив корозійних середовищ.

Вирішення проблеми взаємозв'язку конструктивних і технологічних методів пов'язано з правильним вибором і пошуком нових матеріалів, а також використанням оптимальних способів формоутворення деталей машин. Постійно покращуються механічні характеристики матеріалів, які традиційно використовуються в машинобудуванні; створюються нові конструкційні матеріали, що задовольняють складні умови експлуатації за навантаженнями, швидкостями, температурами та іншими параметрами.

Зокрема, вітчизняне машинобудування широко використовує середньо-леговані сталі *30ХГСНМА*, *30Х2ГН2СВМА*, *40ХНМА*, *40ХГСН-3ВА*, які мають межу міцності $\sigma_B = 1700 \dots 2000$ МПа. Великі можливості для деталей машин спеціального призначення, які працюють при високих температурах відкриває використання мартенситностаріючих сталей (наприклад, *Н18К9М5Т*) з високою корозійною стійкістю і міцністю $\sigma_B = 2400 \dots 2500$ МПа.

Нині поряд із традиційними конструкційними матеріалами особливої уваги заслуговують різні композитні структури, полімери та інші новітні неметалеві матеріали.

Для досягнення ефективних конструктивних рішень необхідно застосовувати сучасні технологічні процеси. Найбільш розповсюдженим способом формоутворення деталей машин є обробка металів різанням. За використання для заготовок прокату приблизно четверта частина переробленого металу відходить у стружку. Прогресивним є і спосіб пластичної обробки деталей під кінцевий розмір, що, окрім збільшення продуктивності в 5...10 разів, призводить до скорочення втрат металу на 10% у порівнянні з обробкою різанням та сприяє підвищенню втомної міцності завдяки зміцненню поверхневих шарів деталей.

Розширюється сортамент металопрокату, що дозволяє отримувати оптимальні за формою перерізи і, таким чином, у деяких випадках до трьох разів ефективніше використовувати метал.

При виготовленні литва розвивається виробництво точних литих заготовок, при цьому досвід показує, що кожна тонна литих заготовок здатна «замінити» до 1,5 тонн прокату і знизити вихід металу в стружку до 4% (замість 25...40% при звичайних способах виробництва).

Роль способу формоутворення зручно проілюструвати даними про величини коефіцієнту використання металу (відношення маси готового виробу до маси заготовки), що становить: при вільному куванні 0,25; при гарячому штампуванні 0,40; при холодному штампуванні

0,70...0,80; при точному литві 0,92...0,96.

Перспективний розвиток конструкцій. Тут стисло розглянемо тільки конструкції з'єднань, передач і приводів, як такі, що мають загальномашинобудівне призначення.

Конструкції з'єднань деталей машин і їх розрахунок розвиваються в напрямках забезпечення рівної несучої здатності з'єднуваних та з'єднуючих деталей; зручності багаторазового складання-розбирання без операцій підганяння, простоти обслуговування. З традиційно використовуваних у машинобудуванні конструкцій подальший розвиток отримують різьбові з'єднання.

У зв'язку з ростом навантажень на опори і швидкості обертання деталей (валів, осей) зростає роль підшипників ковзання, що працюють у режимі рідинного тертя.

Конструктивне вдосконалення підшипників кочення направлено на оптимізацію форм доріжок і тіл кочення, зміну конструкції останніх, із метою рівномірного сприйняття навантажень по довжині контактної площадки. Розроблені конструкції герметизованих підшипників із запасом мастила на ресурс; розширено номенклатуру підшипників, адаптованих до роботи в високотемпературних та корозійно- і абразивно-агресивних середовищах.

Основні шляхи розвитку конструкцій муфт з'єднань визначаються потребою покращення динамічних характеристик машин й автоматизації процесів керування ними.

Процес подальшого конструктивного вдосконалення і розвитку передач супроводжується деякою переоцінкою властивих для них функцій. З одного боку, з ростом робочих швидкостей виконавчих органів частота обертання привідних валів наближається до оптимальної частоти обертання валів двигунів. З іншого боку створюються економічні й надійні конструкції двигунів із регульованою в широкому діапазоні частотою обертання. Із врахуванням цих обставин роль передач, як перетворюючих механізмів, може бути менш значимою.

Із механічних передач найбільш розповсюдженими залишаються зубчасті. Шляхи їх удосконалення пов'язані з пошуками оптимальної геометрії зачеплення, підвищенням точності, збільшенням несучої здатності завдяки використанню нових матеріалів та поверхневому зміцненню, а також нових мастил і присадок до них. Оскільки збільшення кількості силових контактів у зачепленні сприяє підвищенню несучої здатності передач, широко використовують багатопотокові, планетарні та хвильові зубчасті механізми.

Черв'ячні передачі розвиваються в напрямі покращення умов мащення. Перспективними є глобoidні й циліндричні черв'ячні передачі з оптимальним розміщенням контактних ліній.

Передачі за допомогою тертя (фрикційні) зберігають своє значення, а їх розвиток пов'язаний переважно із застосуванням нових матеріалів, що забезпечують необхідні тягові характеристики та довговічність.

Нині ширшого застосування знаходять гідравлічні та пневматичні приводи, перевагами яких є:

- здатність розвивати дуже високі зусилля;
- швидкодія і точність регулювання руху виконавчих механізмів;
- незалежність розміщення приводу від місця установки виконавчих механізмів тощо.

У розвитку методів розрахунку особлива увага приділяється оптимальному використанню несучої здатності виробу при визначенні надійності або запасу міцності, базуючись на створенні реальних розрахункових моделей (оцінці умов навантаження, взаємодії окремих деталей та їх закріплення), на дослідженні напруженого стану тощо. Мають широкий розвиток і застосування ймовірнісні розрахунки, що задовольняють цілі безвідмовної і довговічної роботи в межах передбаченого ресурсу.

Стандартизація та нормалізація. Вагомим фактором, що впливає на розширення виробництва і якість продукції для всіх галузей промисловості, зниження вартості виробів, покращення умов праці є стандартизація та нормалізація. Особливого значення стандартизація та нормалізація набуває в машинобудуванні. Це проявляється у різноманітності типорозмірів виробів, потребою в яких в одному випадку обчислюється одиницями, а в іншому – тисячами або й мільйонами, у величезній номенклатурі матеріалів, інструментів, технологічних процесів тощо.

Стандартизацією називається встановлення обов'язкових норм та вимог безпеки та якості, яким повинні відповідати вироби, що закріплено відповідними національними та міжнародними стандартами. Нормалізація встановлює рекомендований ряд чисел, призначених для використання в машинобудуванні, що визначають рекомендовані (переважаючі) типорозміри технічних об'єктів. Стандартизація та нормалізація також обмежує кількість типорозмірів або надає переважачі значення параметрів чи характеристик.

Національні стандарти відображають особливості й рівень машинобудування у своїх країнах, і тому однотипні стандарти різних країн відрізняються один від одного. У зв'язку з процесами глобалізації економік зростає тенденція уніфікації національних стандартів. Міжнародні стандарти розробляються на базі досягнень науки та техніки в найбільш розвинутих країнах.

Розробкою міжнародних стандартів займається Міжнародна організація зі стандартизації (англ. *International Organization for*

Standardization, або *ISO*). Наприклад, за своїм змістом стандарти *ISO* відрізняються тим, що лише 20% з них включають вимоги до конкретної продукції. Основна маса нормативних документів стосується вимог безпеки, технічної сумісності, методів випробування продукції, а також інших загальних методичних питань.

Створення похідних машин

Похідні машини це машини, що створені на основі базової моделі і відрізняються від неї експлуатаційними показниками (наприклад потужністю, продуктивністю тощо) або призначенням (виконують якісно інші операції).

Створення похідних машин, як правило, відбувається шляхом уніфікації. Уніфікація передбачає багатократне застосування в конструкції виробу одних і тих же елементів, що веде до скорочення номенклатури деталей та зменшення вартості виготовлення, спрощення експлуатації та ремонту машин. Уніфікація являє собою ефективний і економічний спосіб створення на базі вихідної моделі ряду похідних машин однакового призначення, але з різними показниками потужності, продуктивності і тому подібне, або машин різного призначення, які виконують якісно інші операції, розраховані на випуск іншої продукції.

Нині є декілька напрямів розв'язання задачі створення похідних машин.

Секціонування. Метод секціонування полягає в поділі машини на однакові секції й утворенні виробничих машин набором уніфікованих секцій.

Метод зміни лінійних розмірів. За цим методом з метою отримання машин та агрегатів різної продуктивності змінюють їх лінійні розміри, зберігаючи форму.

Метод базового агрегату. В його основі лежить використання базового агрегату, що перетворюється в машини різного призначення шляхом приєднання до нього спеціального обладнання.

Конвертування. За методом конвертування базову модель машини чи її основні елементи використовують для створення агрегатів різного призначення.

Компаундування. Цей метод паралельного з'єднання машин чи агрегатів застосовують із метою збільшення загальної потужності або продуктивності установки.

Модифікування. Модифікуванням називають перероблення машини з метою пристосування її до інших умов роботи, операцій і видів продукції без зміни основної конструкції, наприклад, зміною матеріалів.

Агрегатування полягає в створенні машин шляхом поєднання уніфікованих агрегатів, що є автономними вузлами, встановленими в різній кількості і комбінаціях на спільній станині.

Комплексна стандартизація. Стандартизація всіх (або майже всіх) елементів конструкції машини є комплексною стандартизацією. Застосовується в основному для агрегатів найпростішого типу (резервуари, ресивери тощо).

Уніфіковані ряди. У деяких випадках можливе утворення ряду довільних машин різної потужності або продуктивності шляхом зміни кількості головних робочих органів і їх використання в різних поєднаннях. Такі ряди називають сімейством, гамою або серією машин. Цей спосіб застосовується в машинах, потужність або продуктивність яких залежить від кількості робочих органів.

Класичним прикладом утворення уніфікованих машин є створення рядів двигунів внутрішнього згорання на базі уніфікованої шатунно-поршневої групи деталей.

4.6 ТЕХНІЧНИЙ РІВЕНЬ МАШИН І АПАРАТІВ

номенклатура показників якості; оцінка технічного рівня та якості продукції; техніко-економічні показники машин

Технічний рівень – це сукупність властивостей конкретного виробу, що включає функціональне призначення, суспільно корисний ефект, рівень всіх видів витрат, а також споживчі та екологічні характеристики. Поняття технічного рівня – відносна характеристика якості продукції, що базується на порівнянні значень показників, характеризуючи технічну досконалість виробу.

Продукція машинобудування визначає технічний процес всієї національної економіки держави. Тому необхідно постійно слідкувати за відповідністю технічних показників промислових виробів кращим світовим зразкам, відповідно до розробленої нормативно-технічної документації. Для цього застосовують спеціальні методи оцінки.

Технічний рівень та якість виробів машинобудування визначаються сукупністю властивостей, що характеризують придатність виробу для задоволення потреби в ньому відповідно до його призначення.

Для визначення технічного рівня та якості виробу порівнюють його показники з відповідними показниками базової моделі.

Коли оцінюють технічний рівень і якість перспективних виробів, що підлягають розробленню, то за базову беруть модель, що має прогнозовані показники якості. Ці показники повинні відповідати вищим світовим досягненням і враховувати тенденції розвитку визначеного типу виробів.

Коли оцінюють технічний рівень і якість реально діючих виробів,

то за базову модель беруть аналогічний виріб (аналог), що користується стійким попитом на світовому ринку. Аналог – це виріб, що має подібне функціональне призначення, принцип дії та умови застосування, як і той виріб, що порівнюється, і незначно відрізняється від нього за показниками призначення (прийнято не більше, ніж на 15%).

Номенклатура показників якості

Кількісна характеристика однієї або кількох властивостей продукції (що складають її якість), оцінку яких проводять при її створенні, виготовленні та експлуатації, називається показником якості. Вибір показників якості встановлює перелік найменувань кількісних характеристик властивостей продукції та забезпечує оцінку рівня якості виробу.

Обґрунтування вибору номенклатури показників якості проводиться з урахуванням: призначення та умов використання продукції; аналізу вимог споживача; завдань управління якістю продукції; складу і структури властивостей, що характеризують виріб; основних вимог до показників якості.

Для визначення технічного рівня машин і апаратів використовують показники якості, класифікацію яких наведено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Класифікація показників якості

Класифікаційна ознака	Групи показників якості
За властивостями	Призначення, надійності, технологічності, транспортабельності, ергономічні, естетичні, безпекові, економічні, екологічні, патентно-правові та інші
За способом вираження	Натуральні одиниці (<i>кВт, Н, м, с, бал</i> тощо); вартісні одиниці (<i>грн</i> тощо)
За оцінкою рівня якості	Базові, відносні
За стадією (етапом життєвого циклу машини)	Прогнозні, проектні, виробничі, експлуатаційні
За способом визначення	Розрахункові, експериментальні, розрахунково-експериментальні, експертних оцінок
За кількістю характерних властивостей	Одиничні, комплексні

Якість продукції оцінюється за тими чи іншими ознаками системою показників, які зведені до одиничних, комплексних та узагальнюючих.

Одиничні показники якості характеризують одну з властивостей продукції (товарів) і групуються за класифікаційними ознаками. Наприклад, показники призначення відображають корисний ефект від

використання виробів за призначенням та обумовлюють сферу їх застосування. Для продукції виробничо-технічного призначення основним є показник продуктивності, що показує, який обсяг продукції може бути випущений за допомогою оцінюваної продукції або який обсяг виробничих послуг може бути наданий за визначений проміжок часу. Одиничними є такі показники, як: потужність двигуна, швидкість, продуктивність верстата, вантажопідйомність, пробіг шин до їх зносу, відсоток корисної речовини в сировині та інше.

Комплексні показники характеризують кілька властивостей виробів, включаючи витрати, що пов'язані з розробкою, виробництвом і експлуатацією. У кожній галузі промисловості застосовуються свої специфічні комплексні показники (наприклад, комплексним показником якості електродвигуна є відношення кількості корисної механічної енергії, що виробляється двигуном за весь термін його служби, до сумарних витрат на виробництво та експлуатацію двигуна).

Узагальнюючі показники характеризують загальний рівень якості продукції: обсяг і частку прогресивних видів виробів у загальному випуску, сортність (марочність), економічний ефект і додаткові витрати, пов'язані з поліпшенням якості.

Джерелами інформації для визначення показників якості служать каталоги, проспекти, технічні описи, патенти, інструкції по монтажу і експлуатації, проектна і конструкторська документації, звіти про науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи, нормативно-технічна документація, патентні формуляри, матеріали технічного рівня і якості виробів, публікації, експрес-інформація.

Оцінка технічного рівня та якості продукції

Технічний рівень визначається на основі порівняльного аналізу значень показників оцінюваного зразка машини і відповідних показників аналогів, що відображають вищі світові досягнення і тенденції їх розвитку.

При оцінюванні рівня якості продукції застосовують різні методи.

Диференціальний метод – це метод оцінки рівня продукції, що базується на використанні одиничних показників її якості. При цьому визначають, чи досягнуто рівень базового зразка в цілому, за якими показниками він досягнутий, які показники найбільше відрізняються від базових.

При диференціальному методі розраховують відносні показники якості продукції q за формулою

$$q_i = P_i / P_{ib}, (i = 1, 2, \dots n), \quad (4.8)$$

де P_i – значення i -го показника якості оцінюваної продукції;
 P_{ib} – значення i -го базового показника якості оцінюваної продукції;

n – кількість показників якості продукції.

У результаті оцінки рівня якості продукції диференціальним методом роблять такі висновки:

- рівень якості продукції вищий або дорівнює рівню базового зразка, якщо всі значення відносних показників більші або дорівнюють одиниці;
- рівень якості продукції нижчий рівня базового зразка, якщо всі значення відносних показників менші одиниці.

У випадках, коли частина значень відносних показників більші або дорівнюють одиниці, а частина – менші одиниці, треба застосовувати комплексний або змішаний метод оцінки рівня якості продукції.

Рівень якості продукції, що оцінюється, для якої істотно важливе значення кожного показника, вважається нижче базового, якщо хоча б один із відносних показників менше одиниці.

Комплексний метод оцінки рівня якості продукції базується на застосуванні узагальненого показника якості продукції, який являє собою функцію від одиничних (групових, комплексних) показників якості продукції.

Узагальнений показник може бути виражений:

- головним показником, що відображає основне призначення продукції;
- середньозваженим показником;
- інтегральним показником якості продукції.

Завжди у випадку наявності необхідної інформації визначають головний показник та встановлюють його функціональну залежність від вихідних показників.

Коли недостатньо інформації, а у визначенні залежності є труднощі, використовують середньозважений показник.

Інтегральний використовують тоді, коли відомо сумарний корисний ефект від експлуатації або споживання продукції і сумарні витрати на створення й експлуатацію або споживання продукції.

Метод граничних і номінальних значень заснований на використанні відомих граничних допустимих значень показників якості виробів, що окреслюють вимоги до придатної продукції або приналежність її до даної категорії якості.

Цей метод застосовують, коли граничні значення показників

визначено правильно і виправдані тривалим терміном їх використання.

Метод еквівалентних співвідношень застосовують у випадках, коли вдається обґрунтувати, якій відносній зміні кількості продукції еквівалентна відносна зміна відповідного показника якості з точки зору загального ефекту від використання продукції за призначенням. Або наскільки відсотків можна, наприклад, зменшити число одиниць продукції, щоб задовольнити ті ж потреби при зміні значення даного показника якості на один відсоток.

Змішаний метод оцінки рівня якості продукції заснований на спільному застосуванні одиничних і комплексних (групових) показників.

Змішаний метод оцінки рівня якості продукції застосовують у таких випадках:

- коли сукупність одиничних показників якості є досить великою й аналіз значень кожного показника диференціальним методом не дозволяє отримати узагальнюючих висновків;
- коли узагальнений показник якості в комплексному методі недостатньо повно враховує всі істотні властивості продукції і не дозволяє отримати висновки щодо деяких певних груп властивостей.

При змішаному методі оцінки рівня якості продукції виконують такі дії:

- частину одиничних показників об'єднують у групи, і для кожної групи визначають відповідний комплексний (груповий) показник. Окремі, як правило, важливі показники допускається не об'єднувати в групи, а застосовувати їх при подальшому аналізі як одиничні;
- на основі отриманої сукупності комплексних і одиничних показників оцінюють рівень якості продукції диференціальним методом.

У машинобудуванні технічний рівень і якість виробів застосовують для оцінки техніко-економічних показників продукції, які характеризують рівень її якості у порівнянні з найкращими вітчизняними та закордонними аналогами і перспективними зразками. Рівень виробу оцінюють при розробленні та постановці його на виробництво, а також протягом всього життєвого циклу до зняття його з виробництва або модернізації.

Техніко-економічні показники машин

Основна мета створення нової машини – збільшення економічного ефекту від її використання. Тому конструювання повинно бути

спрямоване на врахування всього комплексу факторів, які є визначальними для економічності машини. Економічний ефект визначається корисною віддачею машини і сумою експлуатаційних витрат за весь період її роботи.

Корисна віддача визначається вартістю продукції або корисної роботи, яку виконує машина за одиницю часу чи машино-операцію і залежить від продуктивності машини (кількість одиниць роботи чи машино-операцій за конкретний проміжок часу). Тому машині необхідно надати оптимальну продуктивність, яка узгоджена з реальними вимогами виробництва і перспективами його розвитку.

Головними способами підвищення продуктивності, наприклад, металообробних верстатів можуть бути: збільшення кількості та підвищення якості одночасно здійснюваних над виробом операцій; збільшення кількості одночасно оброблюваних виробів; скорочення тривалості технологічного циклу; автоматизація технологічного процесу і тому подібне.

До експлуатаційних витрат, що визначають економічний ефект машини, належать такі:

- витрати на оплату праці обслуговуючому персоналу;
- витрати на використання енергоносіїв;
- витрати на монтаж, пуско-налагодження обладнання;
- витрати на технічне обслуговування та ремонт машини;
- амортизаційні відрахування;
- інші витрати (наприклад, пов'язані з питаннями охорони праці, довкілля, промислової санітарії тощо).

На основі встановлених величин корисної віддачі та експлуатаційних витрат визначають відповідні техніко-економічні показники машини, деякі з яких наведені нижче.

Рентабельність машини R_ϵ характеризується відношенням корисної віддачі машини Q до суми експлуатаційних витрат P_ϵ за визначений період

$$R_\epsilon = Q / P_\epsilon. \quad (4.9)$$

Величина повинна бути більша одиниці ($R_\epsilon \geq 1$), оскільки в іншому випадку машина буде збитковою.

Сумарний економічний ефект Q_ϵ за весь термін роботи установки визначається так:

$$Q_\epsilon = Q - P_\epsilon = Q \left(1 - 1/R_\epsilon \right). \quad (4.10)$$

Сумарний економічний ефект пропорційний довговічності, сумарному корисному ефекту установки та залежить від тривалості

експлуатації, вартості обладнання та експлуатаційних витрат. Він різко зростає зі збільшенням довговічності та терміну служби машини, навіть якщо продуктивність її залишається сталою.

Виграш від збільшення довговічності значно перевищує зниження економічного ефекту від подорожчання машини. Тому, як загальне правило, економічний ефект більшою мірою залежить від корисної віддачі і довговічності машини, і саме ці фактори повинні бути в центрі уваги при їх конструюванні.

Термін окупності машини – визначається як період експлуатації, за час якого корисний економічний ефект Q рівний ціні машини.

Коефіцієнт експлуатаційних витрат – відношення витрат за весь календарний період роботи машини до її вартості.

Використана література

1. Белик В. Г. *Технический уровень машин и аппаратов.* – Киев: Техника, 1991. – 200 с.
2. *Единая система конструкторской документации.*
3. Заболонский К. И. *Основы проектирования машин. Учеб. пособие для ВУЗов* -Киев: Вища школа. Головное издательство, 1981- 312 стр.
4. Капица П. Л. *Эксперимент. Теория. Практика.* – М.: Наука, 1974. – 288 с.
5. Карпаш О. М., Шейнбаум В. С., Карпаш М. О. *Інженерна діяльність в умовах сталого розвитку: навчальний посібник.* – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2014. – 285 с.
6. *Конструирование машин: Справочно-методическое пособие. В двух томах.* / Под ред. К. В. Фролова. – М. Машиностроение, 1994. Т.1 – 528 с, Т.2 – 624 с.
7. Кузнецов Ю. М., Луців І. В., Дубиняк С. А. *Теорія технічних систем. Під заг. Ред. проф. Ю. М. Кузнецова.* – Київ – Тернопіль, 1997. – 310 с.
8. *Мала гірнича енциклопедія, т.1-3 / За редакцією В. С. Білецького.* – Донецьк: Донбас, 2007 – 2013. – 652 с.
9. *Создание современной техники: Основы теории и практики / В. Н. Автономов.* – М.: Машиностроение, 1991. – 304 с.

5 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ВЛАСНІСТЬ

Право інтелектуальної власності у найширшому розумінні означає закріплені законом права на результат інтелектуальної діяльності в промисловій, науковій, художній, виробничій та інших галузях. Воно базується на праві володіти, користуватися і розпоряджатися результатами своєї інтелектуальної творчої діяльності, які будучи благом не матеріальним, зберігаються за його творцями і можуть використовуватися іншими особами лише за узгодженням з ними (крім окремих випадків, визначених законодавством).

Інтелектуальна власність (англ. *Intellectual property*) це результат інтелектуальної творчої діяльності однієї людини (автора, виконавця, винахідника) або групи осіб.

У 1967 році в Стокгольмі було підписано Конвенцію про заснування Всесвітньої Організації Інтелектуальної Власності (англ. *World Intellectual Property Organization*, або *WIPO*; фр. *Organisation mondiale de la propriété intellectuelle*, або *OMPI*), яка є одним зі спеціалізованих агентств ООН та створена для заохочення творчої діяльності людини. Нею було визначено, що до інтелектуальної власності належать права на:

- літературні, художні та наукові твори;
- виконавчу діяльність артистів, звукозапис, радіо- і телевізійні передачі;
- винаходи у сферах людської діяльності;
- наукові відкриття;
- промислові зразки, товарні знаки, знаки обслуговування, фірмові найменування і комерційні позначення;
- захист від недобросовісного суперництва;
- усі інші права, що належать до інтелектуальної діяльності у виробничій, науковій, літературній і художній галузях.

Проте нині є багато противників концепції інтелектуальної власності, особливо це стосується прихильників відкритого програмного забезпечення та вільної культури. Вони називають її «інтелектуальною монополією» або «інтелектуальним протекціонізмом» і на їх думку законодавство у сфері інтелектуальної власності приносить більше суспільної шкоди ніж користі. Оскільки інтелектуальна власність базується на факті першого опублікування або реєстрації, то такий підхід нехтує той факт, що одна і та сама ідея, а також механізм її втілення, можуть виникнути одночасно в декількох людей. Відомим прикладом є історія про те, як Нікола Тесла та Томас Едісон одночасно дослідили низку електричних феноменів.

5.1 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ВЛАСНІСТЬ В ІННОВАЦІЙНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ

роль інтелектуальної власності в інноваційній діяльності; управління інтелектуальною власністю; патентно-інформаційне забезпечення та патентна чистота; підтвердження конкурентоздатності машини

Інтелектуальну власність можна умовно поділити на дві основні групи: авторське право та промислову власність. Крім того, для зручності, виділяють в окрему групу так звані нетрадиційні об'єкти інтелектуальної власності, що не зовсім чітко вписуються в ці основні групи.

До об'єктів авторського права в основному належать художні твори, такі як література, музика, картини, скульптури, фільми, комп'ютерні програми тощо. Авторське право полягає в тому, що копіювання літературних та художніх творів може бути здійснено лише автором або за його згодою іншою особою.

До промислової власності відносяться результати інженерної діяльності людини та її науково-технічної творчості, що являє собою науково-технічну продукцію, зафіксовану на носіях інформації. Промислова власність забезпечує створення нових технологічних процесів та машин.

Об'єктами промислової власності є винаходи, корисні моделі, промислові зразки, торгівельні марки, що є об'єктами ліцензування.

Нетрадиційним об'єктами інтелектуальної власності зазвичай є сорти рослин, породи тварин, топографія інтегральних мікросхем, комерційні таємниці, наукові відкриття, раціоналізаторські пропозиції.

Роль інтелектуальної власності в інноваційній діяльності

Рівень економічного розвитку визначається інтенсивністю інноваційної діяльності, що забезпечується перед усім активізацією технологічних пропозицій. Адже одним із основних показників ефективності підприємницької діяльності в системі ринкового господарства є конкурентоспроможність продукції, що виробляється. В даному випадку це стосується машин.

Класичний інноваційний процес передбачає проведення науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт (НД і ДКР). У високорозвинутих країнах інноваційна політика здійснюється на двох рівнях – державному та приватнопідприємницькому. Якраз на приватнопідприємницькому рівні зосереджені основні ресурси, які використовуються для здійснення науково-дослідних й експериментально-конструкторських робіт, а також впровадження їх у практику. На означених рівнях виробляється відповідна інноваційна стратегія та певні фінансово-організаційні

механізми її реалізації. При цьому враховується той факт, що великі корпорації відіграють вирішальну роль в ефективному поєднанні науки й виробництва. У процесі розроблення інновацій і впровадження їх у виробництво одночасно вирішуються такі питання, як підвищення продуктивності персоналу, підвищення рівня його науково-технічної кваліфікації. Це, як правило, позитивно впливає на промислове освоєння наукових результатів у рамках певної організації, патентування створених при цьому технічних рішень і їх виробниче впровадження шляхом творення нових конкурентоспроможних машин, а потім комерційну реалізацію цих машин на ринку.

Конкурентоспроможна машина за своїми техніко-економічними показниками перевищує параметри найближчого аналогу, що користується стійким попитом на ринку, відповідає запитам народного господарства, є екологічно безпечною, має прийнятну для споживача вартість і дає можливість виробнику отримати найбільший прибуток.

Серед чинників, що забезпечують успішну комерціалізацію інновацій, важливе місце займають права власності на об'єкт творчої діяльності, який дозволяє створити нову технологію, машину, товар або послугу.

Ключову роль у системі охорони інтелектуальної власності відіграє патент. Він надає його власнику виключне право заборонити використання запатентованого винаходу на весь термін дії патенту. Завдяки цьому власник патенту отримує можливість компенсувати свої витрати на інноваційну діяльність шляхом реалізації нової машини або продажу своїх прав на неї. Власник патенту отримує більш сильні ринкові позиції, репутацію новаторської організації й право на відшкодування у випадку порушення його прав.

Паризька конвенція з охорони промислової власності (англ. *Paris Convention for the Protection of Industrial Property*), підписана у Парижі 20 березня 1883 року, є однією з найперших та найважливіших міжнародних угод у сфері інтелектуальної власності. За цією конвенцією патенти будь-якої країни-учасниці є доступними для всіх інших учасників цієї конвенції. Вона встановила так зване конвенційне право пріоритету, відповідно до якого, заявник в одній з країн-членів конвенції може використовувати дату своєї першої заявки (що подана у межах однієї з країн-членів) у якості дати наступної заявки до будь-якої іншої держави-учасниці конвенції, якщо він подав цю наступну заявку у межах 6 місяців (для торговельних марок та промислових зразків) або 12 місяців (для

патентів та корисних моделей) з дати першої заявки. Паризька конвенція про охорону промислової власності набула чинності для України 25 грудня 1991 року.

Управління інтелектуальною власністю

Компанії зацікавлені в тому, щоб її патенти працювали на прибуток й успішну конкуренцію.

Не менш важливою є оцінка значимості власних патентних активів. Існує три найбільш широко вживані методи їх оцінки. Перший метод виходить із передумови, що вартість патенту дорівнює сумі витрат на дослідження і розробку, які завершуються створенням винаходу. Другий метод полягає в тому, що вартість патенту складає в середньому 20...25% від прибутку, що планується, за весь час його використання. Найбільш популярним є третій шлях, оснований на підрахунку майбутньої ставки роялті.

Процес управління інтелектуальною власністю при творенні машини ділять на чотири етапи.

На першому визначають природу машини, ринковий попит на неї і патентують втілені в цю машину визначальні технології.

На другому етапі виявляють ключові властивості машини, що створюється, і споруджують біля неї патентний бар'єр.

На третьому етапі патентують найважливіші виробничі процеси, розробляють методи збуту і ведення бізнесу, котрі забезпечують вихід нової техніки на ринок.

Четвертий етап – комерційна реалізація нової машини, що супроводжується патентуванням технологій і процесів, які підсилюють конкурентні позиції компанії.

Патентно-інформаційне забезпечення та патентна чистота

Патентно-інформаційне забезпечення полягає у здійсненні сукупності заходів, кінцевим результатом яких є створення сприятливих умов надійного та швидкого отримання інформації щодо об'єктів права інтелектуальної власності, зокрема відомостей стосовно набуття ними правової охорони, а також характеру та обсягу прав заявників і власників охоронних документів. Упорядковані за певними ознаками (структуровані) відомості, що створюються в ході виконання функцій, складають патентно-інформаційні ресурси.

Ними широко користуються компанії при визначенні своєї технічної політики щодо реалізації нової машини. Особливо важливо мати можливість одержувати оперативну інформацію про коливання динаміки винахідницької активності й виявлення важливих

винаходів. Можливості проведення патентно-інформаційної роботи сьогодні суттєво розширилися завдяки автоматизованому обробленню та упорядкуванню інформації, можливостям віддаленого доступу до неї.

Нову машину можна реалізувати тільки тоді, якщо вона володіє патентною чистотою.

Патентна чистота – це юридична властивість об'єкта техніки, яка полягає в тому, що даний об'єкт може бути використаний у будь-якій іноземній державі без порушення прав, що виходять із патентів, виданих у цій державі.

Патентна чистота повинна відстежуватись на всіх етапах розроблення об'єктів нової техніки. Забезпечення патентної чистоти важливо як для об'єктів, що реалізуються тільки в Україні, так і для об'єктів, що експортуються і при продажу ліцензій за кордон.

Для забезпечення патентної чистоти об'єктів нової техніки, що використовується в Україні, необхідно мати інформацію щодо діючих патентів, щоб не застосовувати захищені цими патентами винаходи. Перевіряти необхідно як об'єкт нової техніки в цілому, так й основні його складові частин. Для підвищення ефективності інформаційного забезпечення патентної чистоти доцільно складати для кожної держави базу даних формул винаходів діючих патентів, щоб кожного разу не починати патентний пошук знову.

Підтвердження конкурентоздатності машини

На машину, що проектується, складають, як правило, карту технічного рівня та якості виробу, що є одним із критеріїв конкурентоспроможності об'єкту нової техніки. Карта включає в себе чотири розділи:

Розділ 1. Загальні дані про продукцію.

Розділ 2. Порівняльна таблиця техніко-економічних показників.

Розділ 3. Дані про перший аналог.

Розділ 4. Дані про другий аналог.

У карті необхідно надавати техніко-економічні показники не менше двох аналогів провідних фірм, одна з яких обов'язково зарубіжна, що виготовляють подібне обладнання. Карти доповнюються розрахунками показників, що стосуються призначення, надійності, економічності використання сировини, матеріалів, палива, енергії й трудових ресурсів, обмежень щодо шкідливих дій, стандартизації й уніфікації, технологічності, патентно-правових, естетичних і екологічних показників машини, що проектується. У карті також необхідно навести розрахунки узагальненого показника технічного рівня, лімітну вартість, економічний ефект на

одиницю продукції, перелік держав, в яких машина буде володіти патентною чистотою, перелік держав, до яких намічено експортувати машину, терміни розробки та дату і номер акту приймання дослідного зразка, адресу підприємства виробника й дату початку серійного виробництва.

Невід'ємною складовою частиною технічної документації на конкурентоспроможну машину є сертифікат відповідності.

Сертифікат відповідності – це документ, який засвідчує якість машини і відповідність її конструкції усім діючим нормативно-технічним документам, що стосуються виробництва, монтажу, експлуатації, ремонту, транспортування та утилізації машини. Обов'язково в цьому документі розглядають безпечність машини для людей і навколишнього середовища.

Сертифікат відповідності складає і оформлює орган з сертифікації продукції відповідно до галузі його акредитації на основі експертного заключення незалежної випробувальної лабораторії.

5.2 НАУКОВО-ТЕХНІЧНА ПРОДУКЦІЯ

відкриття; винахід; корисна модель; раціоналізаторська пропозиція; промисловий зразок; товарний знак; ноу-хау; інжиніринг; комерційна реалізація об'єктів інтелектуальної власності

Науково-технічна продукція це завершені науково-дослідні, проектні, конструкторські, технологічні роботи та послуги, створення дослідних зразків або партій виробів, необхідних для проведення науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт згідно з вимогами, погодженими із замовниками, що виконуються чи надаються відповідними суб'єктами господарювання (науково-дослідними, конструкторськими, проектно-конструкторськими і технологічними установами, організаціями, а також науково-дослідними і конструкторськими підрозділами підприємств, установ і організацій тощо).

Формування науково-технічної продукції вимагає довготривалого часу роботи висококваліфікованих фахівців визначеного профілю та, як правило, значних асигнувань. Результати науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт є інтелектуальною власністю розробника, тому їх захищають за допомогою охоронних документів від несанкціонованого використання. Враховуючи важливість впливу науково-технічної продукції на розвиток виробничих сил суспільства, охороні прав авторів інтелектуальної власності приділяється особлива увага державних органів. Ці права захищені відповідними законами та регламентовані правилами Всесвітньої організації інтелектуальної власності (ВОІВ).

Відкриття

Науковим відкриттям визнається встановлення невідомих раніше, але об'єктивно існуючих закономірностей, властивостей та явищ матеріального світу, що вносять корінні зміни в рівень наукового пізнання. Відкриття є найвищим науковим рівнем пізнання навколишнього світу.

Основними ознаками відкриття є світова новизна, фундаментальність та достовірність.

Автор має право надати науковому відкриттю своє ім'я або спеціальну назву. Право на відкриття засвідчується дипломом та охороняється у порядку, встановленому законом.

Винахід

Винахід – це нове з суттєвими відмінностями технічне рішення задачі в будь-якій галузі народного господарства, соціально-культурної сфери і оборони, що дає позитивний ефект.

Винаходом, як результатом інтелектуальної діяльності людини в будь-якій сфері технології вважають нове рішення технічного завдання.

ВОІВ трактує винахід так: винахід означає ідею винахідника, що дозволяє на практиці вирішити конкретну задачу в галузі техніки.

Об'єктами винаходів можуть бути:

- матеріальні результати праці людей, тобто продукт (пристрій, речовина тощо);
- способи дії на предмети праці, тобто процеси;
- застосування відомих продуктів та процесів за новим призначенням.

До продуктів праці належать: пристрої, речовини, штами мікроорганізмів, культури біологічних матеріалів.

Процесом є сукупність послідовних дій (технологічних операцій) над предметами для досягнення визначеного результату, як, наприклад, виготовлення, обробка, переробка продукту та контроль його якості; перетворення речовини, енергії, даних; вимір параметрів, діагностування, лікування; керування процесом, що є об'єктом технології.

Винахід, як результат науково-технічної творчості, зазвичай служить тим потребам суспільства, що не можуть бути вирішені відомими або очевидними засобами. Технічне рішення вважається винаходом, якщо воно є новим, має винахідницький рівень та промислово придатне.

Винаходи в машинобудуванні, як і в інших галузях техніки, реєструються з метою встановлення правових відношень між

винахідником та державою. На винахід держава видає охоронний документ – патент. В Україні патент на винахід діє протягом 20-ти років із дати пріоритету.

Не визнаються винаходами: наукові теорії; методи організації й управління господарством; умовні позначення, розклади, правила; методи виконання розумових операцій; алгоритм і програми для обчислювальних машин; проекти і схеми планування споруд; пропозиції, що стосуються лише зовнішнього вигляду виробів і спрямовані на задоволення естетичних потреб.

Корисна модель

Корисна модель – це результат інтелектуальної діяльності людини в будь якій сфері технології. Проте на відміну від винаходу, до корисної моделі не висувається вимога щодо винахідницького рівня.

Наприклад об'єктом корисної моделі може бути конструктивне виконання пристрою, що має характеризуватися чітко вираженими просторовими формами. Така форма має характеризуватися не лише наявністю елементів і зв'язків між ними, але й формою виконання самих елементів, їх певним взаємним розташуванням. Тобто це внутрішнє влаштування виробу: розташування елементів, з яких складається сам пристрій, та зв'язки між ними. Так, наприклад, двигуни внутрішнього згорання можуть бути багатьох різноманітних форм, але за своєю сутністю вони однакові, а їх внутрішня побудова і є корисною моделлю.

Виключне право власності на корисну модель в Україні набувається шляхом отримання патенту на корисну модель, який засвідчує авторство і пріоритет. На відміну від винаходів патенти на корисну модель мають коротший термін захисту (10 років в Україні, від 6 до 10 років в інших країнах) та менш жорсткі умови патентоздатності. Корисна модель вважається патентоздатною, якщо вона є новою та придатною до промислового використання.

Раціоналізаторська пропозиція

Раціоналізаторська пропозиція – це творче технічне рішення конкретної конструкції, технологічного процесу або матеріалу, що практично здійснюється на конкретному робочому місці.

До раціоналізаторської пропозиції за загальним правилом встановлюється три необхідні вимоги: вона має стосуватися профілю підприємства, якому ця пропозиція подана; бути новою та корисною підприємству.

Реєстрація здійснюється в день надходження заяви на раціоналізаторську пропозицію підрозділом із винахідництва та

раціоналізації або іншим підрозділом, на який покладено виконання цих функцій.

Пропозиції можуть бути визнані раціоналізаторськими після прийняття серійного зразка чи прийняття технологічного процесу або, якщо подані пропозиції поліпшують технічні характеристики виробів, технологічних процесів.

Раціоналізаторська діяльність – це найбільш поширений вид технічної творчості, яка за своєю новизною і технічним рівнем є нижчою від винахідництва. Проте цей вид творчості доступний практично кожному працівникові, і тому він за своїми масштабами перевищує винахідництво. Наведені та деякі інші чинники роблять раціоналізаторську діяльність високоефективною. Своїм масовим застосуванням раціоналізаторські пропозиції інколи здатні давати більший економічний ефект, ніж винаходи.

Промисловий зразок

Промисловий зразок це результат творчої діяльності людини в галузі художнього конструювання.

До промислових зразків належать художні та художньо-конструкторські рішення, що визначають зовнішній вигляд виробу. Промислові зразки можуть бути об'ємними (моделі), плоскими (малюнки) та комбінованими. Промисловому зразку надається правовий захист.

Промисловий зразок відрізняється від винаходу та раціоналізаторської пропозиції тим, що його рішення стосується зовнішнього вигляду (форми виробу); від товарного знаку тим, що є рішенням виробу; а від творів мистецтва – промисловим повторенням.

Право власності на промисловий зразок засвідчується патентом. Термін дії патенту на промисловий зразок становить 10 років з дати подання заявки і продовжується за клопотанням власника патенту, але не більше ніж на 5 років.

Товарний знак

Знак для товарів і послуг (також товарний знак, торгова марка, англ. *Trademark*) – позначення, знак за яким товари та послуги одних осіб відрізняються від товарів та послуг інших осіб.

Такими позначеннями можуть бути слова, цифри, зображувальні елементи, комбінації кольорів. Товарний знак служить для того, щоб відрізнити виріб від подібної продукції інших підприємств і вказує на його виробника. Товарний знак реєструється у встановленому порядку і дає власнику виключне право на його використання.

Основні функції товарного знаку: відрізнити, гарантувати та рекламувати продукцію.

Охоронним документом на знаки є свідоцтво, яке видається Держпатентом України терміном дії 10 років та можливістю його періодичного поновлення.

Ноу-хау

Ноу-хау (англ. *Know-how*) – це відомості, за охорону яких держава не несе відповідальності. До ноу-хау належать: секрети виробництва; технічний досвід; виробничі навички; оптимальні режими роботи; рецепти; технологічні та монтажні схеми; незапатентовані винаходи та інша вагома науково-технічна інформація.

Ноу-хау, як предмет комерційної угоди, включає повністю або частково конфіденційні знання технічного, економічного або іншого характеру, що не є загальновідомими і дають їх власнику певні переваги перед іншими виробниками продукції. Ноу-хау застосовується у виробничій та господарській діяльності. Це:

- різного роду технічні знання і досвід, які не мають правової охорони за кордоном, включаючи методи, способи та навички, необхідні для проведення проектування, розрахунків, будівництва та виготовлення будь-яких об'єктів або виробів, науково-дослідних, дослідно-конструкторських, пусконаладжувальних та інших робіт;
- розробки та використання технологічних процесів;
- склад та рецепти матеріалів, речовин, сплавів тощо;
- методи та способи лікування;
- методи пошуку та видобутку корисних копалин;
- знання та досвід адміністративного, економічного, фінансового або іншого роду.

Автор «ноу-хау» повинен сам, завдяки самостійному аналізу інформаційних матеріалів, переконатися у відсутності аналогів його «ноу-хау».

Виявлення ноу-хау відбувається шляхом техніко-економічного аналізу виробництва, так як техніка – це результат логіки інженерних розрахунків, на основі яких лежить раціоналізм.

Безумовно, ноу-хау не завжди може бути результатом творчої діяльності людини, проте це завжди результат інтелектуальної діяльності, яка відрізняється лише якісною новизною своїх форм і результату, оскільки у певних випадках ноу-хау не є якісно новим. Таким чином, на відміну від комерційної таємниці, ноу-хау завжди є результатом інтелектуальної діяльності людини, пов'язаної з використанням здібностей раціонального пізнання,

здійсненням раціональних, логічних висновків. У разі ж збереження в секреті незапатентованих, але патентоздатних технічних рішень, ноу-хау може виступати як результат інтелектуальної, творчої діяльності

Передача ноу-хау не регламентована законодавством України та здійснюється на договірних засадах.

Для реєстрації ноу-хау спочатку потрібно підготувати його опис обсягом 1...2 аркуші формату А4. Опис повинен мати назву: представлення ноу-хау (офіційна назва) на торги. Логіка побудови тексту повинна бути бездоганною з точки зору розкриття суті ноу-хау.

Реєстрацію опису здійснюють у нотаріальній конторі за місцем проживання. Державна реєстрація фіксує власника ноу-хау та дозволяє йому розпоряджатися ноу-хау на власний розсуд. За реєстрацію сплачується держмито. Єдиного державного реєстру ноу-хау немає.

Інжиніринг

Інжиніринг (англ. *Engineering*) – це цілеспрямований комплекс інтелектуальних дій та різного роду інженерних послуг, що необхідні для досягнення оптимальних результатів шляхом вибору процесів, техніки та методів керування.

У традиційному розумінні – це інженерно-консультативні послуги, пов'язані з підготовкою виробничого процесу, або послуги із забезпечення нормального перебігу процесу виробництва та реалізації продукції. Усі різноманітні види інжинірингових послуг можна поділити на дві групи:

- послуги, пов'язані з підготовкою виробничого процесу (передпроектні, проектні, післяпроектні і спеціальні послуги);
- послуги щодо забезпечення ефективності діючого виробництва та реалізації виготовленої продукції (роботи, спрямовані на оптимізацію процесів експлуатації; поліпшення функціонування технологічних ліній; залучення до інформаційних систем; поліпшення матеріально-технічного постачання; менеджменту та маркетингу тощо).

Інжиніринг, як багатоцільовий інструментарій співробітництва, створює можливості для взаємодії на різних стадіях створення та функціонування об'єктів виробництва.

Комерційна реалізація об'єктів інтелектуальної власності

Комерційна реалізація об'єктів інтелектуальної власності здійснюється шляхом продажу ліцензії на право використання

об'єктів ліцензування.

Основою використання винаходу в народному господарстві є майнові права, що виходять з визнання патенту на винахід інтелектуальною власністю і стимулюють взаємну зацікавленість винахідників та підприємств у широкому використанні винаходу.

При цьому продукт праці вважається виготовленим на основі запатентованого винаходу, якщо в ньому використана кожна ознака, що включена до незалежної частини формули винаходу, або еквівалентна ознака.

Взаємини між власником патенту та зацікавленими особами (юридичними або фізичними) у використанні захищеного патентом винаходу будуються на основі ліцензійного договору на право використання винаходу. Процедурні дії щодо отримання патенту подані у наступному підрозділі.

При комерційній реалізації об'єктів інтелектуальної власності використовують також ноу-хау, як предмет комерційної згоди або інжиніринг.

5.3 ПАТЕНТУВАННЯ

рівні винаходів та їх патентоспроможність; процедура отримання патенту; опис винаходу; формула винаходу; патентний пошук; патентна класифікація; права власника патенту

Патент – це охоронний документ, що свідчить про визнання заявленої пропозиції винаходу, пріоритет, авторство на винахід та виключне право власника патенту на використання винаходу.

За об'єктами промислової власності, патенти видаються на винахід, корисну модель та промисловий зразок.

Охорона патенту, про що свідчить патент на винахід, означає, що фізичні або юридичні особи, які хочуть використовувати винахід, повинні отримати дозвіл автора патенту.

Рівні винаходів та їх патентоспроможність

Винахідницькі завдання умовно поділяються на п'ять рівнів, з яких 5-й рівень найвищий:

- 1 – використання готового об'єкта;
- 2 – вибір одного об'єкта з декількох;
- 3 – часткова заміна вибраного об'єкта;
- 4 – створення нового об'єкта або повна заміна початкового;
- 5 – створення нового комплексу об'єктів.

З аналізу існуючих винаходів маємо такі статистичні співвідношення кількості винаходів та спроб їх здійснення, що наочно ілюструють складність вирішення винахідницьких задач різних рівнів (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Співвідношення винаходів

Рівень винаходу	1	2	3	4	5
Кількість винаходів, %	32	45	19	3,7	0,3
Кількість спроб здійснення	<10	>10 ¹	>10 ²	>10 ³	>10 ⁴

Патентоспроможність – сукупність ознак технічного рішення, які відзначаються новизною і є необхідними та достатніми для визнання його винаходом.

Винахід відповідає умовам патентоспроможності, якщо він є новим, має винахідницький рівень і є промислово придатним.

Винахід визнається новим, якщо він не є частиною рівня техніки. Рівень техніки включає всі відомості, які стали загальнодоступними у світі до дати подання заявки в патентне відомство.

Винахід має винахідницький рівень, якщо для фахівця він явно не впливає з рівня техніки.

Винахід визначається промислово придатним, якщо його можна буде використовувати в промисловості або іншій сфері діяльності людини.

Право на одержання патенту має винахідник, якщо інше не передбачено чинним законодавством. Винахіднику належить право авторства, яке є невідчужуваним особистим правом і охороняється державою безстроково.

Запровадження запатентованого винаходу, як правило, виконується відповідно до визначених етапів дослідно-конструкторської роботи. На питання, пов'язані з економічним ефектом винаходу – собівартість, експлуатаційні витрати, розрахунковий термін служби тощо, достовірно можна відповісти лише на стадії експериментального виробництва.

Процедура отримання патенту

Особа, яка бажає отримати патент і має на це право, подає до патентного відомства України заявку. Заявка складається українською мовою і повинна містити таке:

- заяву на видачу патенту України на винахід;
- опис винаходу;
- формулу винаходу;
- кресленики (якщо на нього є посилання в описі);
- реферат.

За подання заявки сплачується збір. Датою подання заявки є дата одержання патентним відомством матеріалів, що містять клопотання про видачу патенту та матеріали заявки.

Правова охорона надається винаходу, якщо він не суперечить

супільним інтересам, принципам гуманності й моралі та відповідає умовам патентоспроможності. Право власності на винахід засвідчується патентом. Обсяг правової охорони, що надається патентам, визначається формулою винаходу. Тлумачення формули повинно проводитися в межах опису на винахід та відповідних креслеників. Дія патенту на спосіб одержання продукту поширюється і на продукт, безпосередньо одержаний цим способом.

Опис винаходу

Опис винаходу з формулою та графічними матеріалами (фігурами) є основними документами заявки і повинні:

- повністю розкривати технічну суть винаходу та містити інформацію для подальшої розробки;
- давати точне та дійсне уявлення про новизну, винахідницький рівень та промислову придатність заявленого технічного рішення, про внесок, зроблений винаходом у дану галузь техніки або народне господарство.

Опис винаходу повинен мати таку обов'язкову структуру:

- назва винаходу та індекс міжнародної патентної класифікації (МПК), до якого він, за думкою заявника, належить;
- галузь техніки, до якої належить винахід та межі використання винаходу;
- рівень техніки (характеристика аналогів винаходу; критика аналогів; характеристика прототипу; критика прототипу);
- суть винаходу (зазначення об'єкта удосконалень, технічного результату; суттєві ознаки; причинно-наслідкові зв'язки між сукупністю суттєвих ознак і технічним результатом);
- перелік фігур графічних зображень;
- відомості, що підтверджують можливість здійснення винаходу (приклади конкретного використання, опис у статичній і в дії);
- джерела інформації про аналоги та прототип;
- формула винаходу (на окремій сторінці).

Опис винаходу доповнюється графічними матеріалами, котрі виконують у вигляді окремих фігур. Графічні матеріали, кресленики, схеми, графіки, рисунки та інше повинні бути строго узгоджені з текстом опису і давати виразне уявлення про об'єкт винаходу. Окремі фігури графічних матеріалів виконують відповідно до вимог єдиної системи конструкторської документації. Подання робочих креслеників недопустимо.

Опис винаходу підписує заявник або уповноважена ним на це особа.

Формула винаходу

Формула винаходу – це складена за встановленими правилами коротка словесна характеристика, що виражає технічну суть винаходу та містить сукупність усіх суттєвих ознак винаходу, достатніх для досягнення технічного результату.

Формула винаходу має чотири основних призначення:

- коротко та чітко викласти технічну суть винаходу;
- визначити межі винаходу (прав винахідника);
- служити засобом ідентифікації відмінності об'єкта винаходу від інших об'єктів;
- дати коротку, але достатньо повну інформацію відповідним спеціалістам про те, що досягнуто винаходом у галузі.

Склад формули винаходу:

- обмежувальна частина, що включає в себе назву або ознаки, спільні для даного об'єкта винаходу та прототипу;
- розділова частина, що виражена фразою «який(а, е) відрізняється тим, що...»;
- відмінна частина, яка включає в себе ознаки, що відрізняють об'єкт винаходу від прототипу.

Формула винаходу повинна відображати технічне вирішення задачі, а не постановку задачі. За загальною структурою формула винаходу може мати один або декілька пунктів, при цьому в перший пункт багатоланкової формули (який є визначальним у правовому відношенні) вводяться загальні суттєві ознаки винаходу, кожна з яких необхідна у всіх випадках виконання або використання винаходу, а разом узяті достатні для того, щоб забезпечити досягнення позитивного ефекту.

При складанні формули винаходу на пристрій використовують переважно короткі пасивні дієприкметники доконаного виду: виконаний, підключений, закріплений, пов'язаний, розміщений, розташований тощо і описують будову конструкції нерухомого об'єкта винаходу.

Ознаки способу у формулі виражають дієсловами дійсного способу третьої особи множини теперішнього часу: нагрівають, піддають, подрібнюють, виконують, розрізають тощо та описують послідовність виконання операцій, при цьому наводять інтервал граничних значень технологічних режимів, що охоплюють оптимальні умови виконання способу.

Патентний пошук

Процедура патентного пошуку (пошук інформації про винаходи) полягає у:

- визначенні об'єкта пошуку;

- встановленні переліку країн;
- виборі часового інтервалу;
- пошуку аналогів та прототипу;
- перегляді й відборі описів винаходів.

Часовий інтервал, за який здійснюється патентний пошук, як правило, при плануванні береться в межах 7...10 попередніх років, при патентних дослідженнях – 10...15 років, при дослідженні патентоспроможності – 50 років, а при визначенні патентної чистоти – термін дії патентів.

Аналоги – об'єкти того ж призначення, що й об'єкт патентного дослідження, схожі за технічною суттю та за результатом, що досягається при їх використанні.

Прототип – найбільш близький до винаходу аналог за технічною суттю та за результатом, що досягається при його використанні.

Для пошуку аналогів та прототипу спочатку виконується аналіз технічного рішення. Для пристрою виписують всі функціональні елементи із зазначенням функцій, які виконує кожен, а для способу – ознаки, що характеризують наявність операцій та засобів, з яких складається спосіб. Далі виділяють сукупності суттєвих ознак об'єкта, завдяки яким можна отримати той позитивний ефект, який є метою винаходу.

Пошук інформації про винаходи проводиться, як правило, для вирішення однієї із таких задач:

- прогнозування тенденцій розвитку техніки;
- визначення новизни технічних рішень, що заявлені в якості винаходів;
- визначення патентної чистоти об'єктів техніки по відношенню до винаходів.

Існують два способи визначення прототипу з аналогів:

- за максимальною кількістю схожих ознак заявленого об'єкта винаходу та ознак аналога;
- за однією (двома) суттєвими ознаками, що більшою мірою від інших впливають на досягнення позитивного ефекту.

Джерела інформації для патентних досліджень:

- опис винаходів різних країн;
- офіційні бюлетені;
- бюлетені впроваджених винаходів;
- публікації інститутів патентних досліджень;
- фірмові журнали;
- рекламні матеріали;
- інформаційні листки;
- видання інформаційних фірм;

- вітчизняні видання;
- іноземні видання (книги, журнали);
- рукописи статей, монографій, конференцій;
- звіти про науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи;
- галузеві реферативні журнали;
- перелік діючих патентів;
- відповідні рубрики мережі Internet.

Патентна класифікація

Для забезпечення орієнтації в патентній документації та пошуку матеріалів, що відповідають запиту, необхідна класифікація винаходів, описів, патентів та авторських свідоцтв за тематичними рубриками. Історично так склалося, що в кожній промислово розвинутій країні створювали свої системи класифікації винаходів. Нині найбільш поширеною є міжнародна патентна класифікація (*МПК*) згідно із Страсбурзькою угодою, яка набрала чинності 24.03.1971 року.

Під час розробки *МПК* було враховано такі вимоги: придатність системи як для країн, які користуються дослідницькою системою експертизи заявок на новизну, так і для країн з явочною системою патентування; максимальна логічність структури; охоплення сучасних галузей техніки; можливість дальшого розвитку й класифікації шляхом введення нових рубрик і заміни застарілих.

МПК являє собою 5-сходинкову ієрархічну систему. Загальна система класифікації складається з 8 розділів, 118 класів, 617 підкласів. Такого поділу достатньо для використання *МПК* у країнах з явочною системою. Поряд із цим поділом країни з дослідницькою системою деталізації мають дрібну систему *МПК*, яка додатково втілена в 6602 групах і 48865 підгрупах. Повний класифікаційний індекс *МПК* складається з комбінації індексів, що позначають розділ, клас, підклас, основну групу та підгрупу.

Логічність структури забезпечується завдяки розміщенню класифікуючих галузей відповідно до розділів, позначених великими літерами латинського алфавіту:

- A. Задоволення життєвих потреб людини.
- B. Різні технологічні процеси.
- C. Хімія, металургія.
- D. Текстиль, папір.
- E. Будівництво, гірнича справа.
- F. Механіка, освітлення, опалення; двигуни і насоси; зброя і боєприпаси; підривні роботи.
- G. Фізика.
- H. Електрика.

МПК постійно вдосконалюється і редагується комітетом експертів спеціальної ради при всесвітній організації інтелектуальної власності. Один раз на 5 років видається нова редакція *МПК*.

Сукупність позначень складає індекс *МПК*, наприклад, *B 23 P 19/00* або *G 01 P 21/00*, де перші літери запису *B* та *G* означають класифікуючу галузь, решта запису відповідає позначенням класів і підкласів, що наводиться в редакції *МПК*.

Права власника патенту

Права, що випливають з патенту, діють від дати публікації відомостей про його видачу за умови оплати річного збору для підтримання чинності патенту.

Патент надає його власнику виключне право використовувати винахід на свій розсуд, якщо таке використання не порушує прав інших власників патенту. Патент надає його власнику право перешкоджати третім особам використовувати винахід без його дозволу. Власник патенту має право дати будь-якій особі дозвіл на використання винаходу на підставі ліцензійного договору. Договір про передачу права власності на винахід і ліцензійний договір вважаються дійсними, якщо вони складені у письмовій формі і підписані сторонами. Зазначені договори набирають чинності стосовно будь-якої іншої особи лише після їх реєстрації у патентному відомстві.

Права, що випливають з патенту, не зачіпають будь-які інші особисті майнові чи немайнові права винахідника, що регулюються іншим законодавством України.

Будь-яка особа, яка до дати подання заявки до патентного відомства добросовісно використала в Україні заявлений винахід, зберігає його право на безоплатне продовження.

Посягання на право власника патенту, передбачене чинним законодавством, вважається порушенням прав власника патенту, що тягне за собою відповідальність згідно з чинним законодавством України.

Власник патенту будь-коли може відмовитися від нього повністю або частково на підставі заяви, поданої до патентного відомства. Дія патенту на винахід припиняється у разі несплати у встановлений термін річного збору для підтримання його чинності.

Права власника патенту вважають порушеними в разі визнання несанкціонованого виготовлення, застосування, ввозу, пропозиції про продаж або введення в оборот продукту, створеного на основі запатентованого винаходу, а також використання способу, що охороняється патентом.

Патентні закони багатьох держав прирівнюють порушення прав

власників патентів до правового режиму рухомого майна та передбачають кримінальну відповідальність за порушення.

Мірою відповідальності за порушення прав власника патенту можуть бути:

- конфіскація або знищення виробів, що виготовлені з порушенням прав власника патенту;
- відшкодування власникові патенту нанесеного збитку від зменшення доходів, у тому числі відшкодування судових витрат;
- конфіскація або знищення засобів технологічного оснащення, за допомогою яких відбувалися порушення.

5.4 ІНФОРМАЦІЙНИЙ ПОШУК

*процес і види інформаційного пошуку; завдання інформаційного пошуку;
Інтернет-ресурси для патентного пошуку*

Доступ користувачів до сучасних інформаційних мереж, ефективно задоволення їх інформаційних потреб. Усе це можливо тільки за допомогою розвинених засобів навігації в цих мережах. Основним інструментом таких засобів є інформаційно-пошукові системи, що забезпечують пошук у гігантських обсягах текстової інформації.

Термін «інформаційний пошук» був уперше введений Кельвіном Муром у 1948 році. Перші реально функціонуючі повнотекстові інформаційно-пошукові системи (англ. *Retrieval Systems*) з'явилися на початку комп'ютерної ери.

Нині інформаційні ресурси тільки веб-простору містять понад двадцять мільярдів документів, до яких має вільний доступ будь-який користувач. Для того, щоб знайти необхідну інформацію із цієї найбільшої повнотекстової бази даних, необхідно використовувати найпотужніші інформаційно-пошукові системи. Такі системи існують і конкурують між собою. Сьогодні мільйонам користувачів Інтернету відомі такі інформаційно-пошукові системи, як *Google, Yandex, Rambler, MSN, Yahoo, AltaVista, AllTheWeb*, які охоплюють мільярди веб-документів. В основу роботи всіх подібних систем покладено спеціальні алгоритми, які є модифікаціями основних підходів – моделей пошуку.

Процес і види інформаційного пошуку

Інформаційний пошук (ІП) – велика міждисциплінарна галузь науки, що стоїть на перетині когнітивної психології, інформатики, інформаційного дизайну, лінгвістики, семантики і бібліотечної справи.

Основне завдання ІП – допомогти користувачеві задовольнити його інформаційну потребу. Оскільки описати інформаційні потреби

користувача технічно не просто, вони формуються як деякий запит, що являє собою набір ключових слів, за якими користувач шукає необхідну інформацію.

Інформаційний пошук – це пошук інформації в документах, пошук самих документів, витяг метаданих із документів, пошук тексту, зображень, відео та звуку в локальних реляційних базах даних, в гіпертекстових базах даних (Інтернет, локальні мережі).

Пошук інформації являє собою процес виявлення з певної кількості документів (текстів) таких, що відповідають зазначеній темі, містять необхідні факти, відомості, дані. В даний час *ІІІ* – це галузь науки, що стрімко розвивається, й популярність якої зумовлено зростанням обсягів інформації, зокрема в мережі Інтернет.

Процес пошуку включає послідовність операцій, спрямованих на збір, обробку та надання необхідної інформації зацікавленим особам.

Пошук інформації складається з чотирьох етапів:

- визначення (уточнення) інформаційної потреби й формулювання інформаційного запиту;
- визначення сукупності можливих власників інформаційних масивів (джерел);
- вилучення інформації з виявлених інформаційних масивів;
- ознайомлення з отриманою інформацією й оцінка результатів пошуку.

Повнотекстовий пошук – пошук по вмісту документа. Як правило, він для прискорення пошуку використовує попередньо вишукувані індекси. Найбільш поширеною технологією для індексів повнотекстового пошуку є інвертовані індекси.

Пошук за метаданими – це пошук за деякими атрибутами документа, підтримуваним системою – назва документа, дата створення, розмір, автор і так далі.

Пошук за зображенням – пошук за змістом зображення (*Content-Based Image Retrieval*, або *CBIR*) – розділ комп'ютерного зору, що вирішує завдання пошуку зображень, які мають необхідний зміст, у великому наборі цифрових зображень. Пошукова система розпізнає зміст фотографії, що завантажена користувачем. У результаті пошуку користувач отримує схожі зображення. Алгоритм пошуку повинен аналізувати зміст зображення, наприклад, колір представлених на ньому об'єктів, їх форму, текстуру, композицію сцени. Коли немає можливості проаналізувати сцену пошуку, розглядають метадані: ключові слова, мітки.

Адресний пошук – процес пошуку документів за суто формальними ознаками, зазначеними у запиті. Для його здійснення потрібні такі умови:

- наявність у документа точної адреси;
- забезпечення суворого порядку розташування документів у пристрої або в сховищі системи.

Адресами документів можуть бути адреси веб-серверів і веб-сторінок, елементи бібліографічного запису і адреси зберігання документів у сховищі.

Семантичний пошук – процес пошуку документів за їх змістом. Умови пошуку:

- переклад змісту документів і запитів з природної мови на інформаційно-пошукову мову та складання пошукових образів документа і запиту;
- складання пошукового опису, в якому вказується додаткова умова пошуку.

Різниця між адресним і семантичним пошуками полягає в тому, що при адресному пошуку документ розглядається як об'єкт з точки зору форми, а при семантичному пошуку – змісту. При семантичному пошуку знаходять безліч документів без вказівки адреси. У цьому полягає різниця між каталогами і картотекою. Бібліотека – збір бібліографічних записів без вказівки адреси.

Документальний пошук – процес пошуку в сховищі інформаційно-пошукової системи первинних документів або в базі даних вторинних документів, що відповідають запиту користувача. Є два види документального пошуку:

- бібліотечний (спрямований на пошук первинних документів);
- бібліографічний (спрямований на пошук відомостей про документи, представлені у вигляді бібліографічних записів).

Фактографічний пошук – процес пошуку фактів, відповідних інформаційному запиту.

До фактографічних даних належать відомості, взяті як з первинних, так і вторинних документів безпосередньо з джерел їх виникнення. Розрізняють два види:

- документально-фактографічний – пошук у документах фрагментів тексту, що містять факти;
- фактологічний (опис фактів) передбачає створення нових фактографічних описів у процесі пошуку шляхом логічної переробки знайденої фактографічної інформації.

Завдання інформаційного пошуку

Патентний інформаційний пошук – обов'язковий етап інженерної діяльності або наукового дослідження, при якому здійснюється процес пошуку в патентних фондах документів, що відповідають темі запиту.

Говорячи про інформаційно-пошукові системи, вживають терміни «запит» і «об'єкт запиту».

Запит – це формалізований спосіб вираження інформаційних потреб користувачем системи. Для вираження інформаційної потреби використовується мова пошукових запитів, синтаксис варіюється від системи до системи. Крім спеціальної мови запитів, сучасні пошукові системи дозволяють вводити запит на рідній мові.

Об'єкт запиту – це інформаційна сутність, яка зберігається в базі автоматизованої системи пошуку. Незважаючи на те, що найбільш поширеним об'єктом запиту є текстовий документ, не існує ніяких принципових обмежень. Зокрема, можливий пошук зображень, музики та іншого мультимедіа інформації. Процес занесення об'єктів пошуку в інформаційно-пошуковій системі називається індексацією. Далеко не завжди інформаційно-пошукова система зберігає точну копію об'єкта, нерідко замість неї зберігається сурогат.

Класичне завдання інформаційного пошуку, з якого почався розвиток цієї галузі, – це пошук документів, що задовольняють запит в рамках деякої статичної колекції документів. Але список завдань інформаційного пошуку постійно розширюється і включає:

- питання моделювання;
- класифікацію документів;
- фільтрацію документів;
- кластеризацію документів;
- проектування архітектури пошукових систем і призначених для користувача інтерфейсів;
- витяг інформації, зокрема анотування і реферування документів;
- мови запитів і інше.

Результати інформаційного пошуку повинні відповідати таким вимогам:

- релевантність (англ. *relevant*) – стосується результатів роботи пошукової системи і експертної системи; ступінь відповідності запиту і знайденого, тобто доречність результату. Одне з найбільш близьких поняттю «релевантності» – «адекватність», тобто оцінка ступеня відповідності, практичної та соціальної застосовності результату варіантів вирішення завдання.
- пертінентність (англ. *pertinent*) – співвідношення обсягу корисної інформації до загального обсягу отриманої інформації. Тобто відповідність знайдених інформаційно-пошуковою системою документів інформаційним потребам користувача. Скорочено – ця корисна відповідність може бути виражена у вигляді відсотка на зразок коефіцієнта корисної дії.

Інтернет-ресурси для патентного пошуку

Патентний інформаційний пошук здійснюється за допомогою інформаційно-пошукових систем і виконується вручну або з використанням відповідних комп'ютерних програм.

Існують безкоштовні Інтернет-ресурси (бази даних), які можуть допомогти в отриманні патентної інформації за короткий проміжок часу. Наведемо деякі з них.

USPTO – повнотекстова база даних патентного відомства США, що налічує кілька мільйонів патентів з 1976 р, які зберігаються в текстовому форматі *HTML* і графічному форматі *TIFF*. Патенти 1790 — 1976 років зберігаються тільки в графічному форматі.

Google Patent Search – база даних *Google* складається з патентів, що містяться в базі *USPTO* (*United States Patent and Trademark Office*). Розширений пошук дозволяє здійснювати пошук за такими критеріями, як автор, назва, номер патенту, дата. Є зручна можливість збільшення тексту (*zoom*) й ілюстрацій патентів. Пошукова система використовує спеціальну технологію розпізнавання тексту на фотографіях, яка дозволяє здійснювати пошук навіть по тексту на відсканованих патентах.

Canadian Patents Database – пошукова система патентної служби Канади, призначена для пошуку в базі даних канадських патентів. Простий і зручний пошук. Можливе відображення графічних ілюстрацій до патентів. У базі даних понад 1.9 млн патентів, починаючи з 1869 року.

Esp @ cenet – Європейське патентне відомство (*European Patent Office*). Нині його база містить понад 60 млн патентних заявок і патентів. Через сайт Європейської патентної організації можна провести пошук патентів по базі даних (БД): «*Worldwide*», Європейської патентної організації (*EPO*), Всесвітньої організації інтелектуальної власності (*WIPO*).

База даних «*Worldwide*» дозволяє шукати інформацію про опубліковані патентні документи з більш ніж 80 країн і регіонів. Це найбільше зібрання документів у *Espacenet*. У базах даних «*EPO – esp @ cenet*» і «*WIPO – esp @ cenet*» можна знайти патенти опубліковані тільки за останні два роки. На головній сторінці сайту відображається список останніх опублікованих патентів. Пошук у базах даних проводиться англійською мовою, але для гарантії доцільно повторити процедуру пошуку на мові країни, яка зареєструвала патент, так як не у всіх патентах є англійський переклад назви й реферату.

УКРПАТЕНТ – база даних патентів України. Станом на 1 січня 2017 року (з 1992 року) до державних реєстрів внесено 489 029 охоронних документів на об'єкти промислової власності (*ОПВ*), серед них:

- 118 141 патент на винаходи;
- 112 891 патент на корисні моделі;
- 33 623 патенти на промислові зразки;
- 221 221 свідоцтво на знаки для товарів і послуг з урахуванням розділених реєстрацій;
- 13 свідоцтв на топографії інтегральних мікросхем (ІМС);
- 3 111 кваліфікованих зазначень походження товарів;
- 29 свідоцтв на право використання зареєстрованих кваліфікованих зазначень походження товарів.

На сайті створена пошукова система в БД «Винаходи зарубіжних країн», що містить інформацію, яка надходить від 42 патентних відомств різних держав і двох регіональних організацій.

РОСПАТЕНТ – Російське патентне відомство – Федеральна служба з інтелектуальної власності, патентів і товарних знаків. В інформаційній пошуковій системі можливий пошук за винаходами, рефератами патентних документів російською та англійською мовами, перспективними винаходами, корисними моделями. Станом на кінець 2016 року в базі даних Роспатенту налічується близько двох мільйонів документів на винаходи і корисні моделі, а саме:

- 230 869 патентів на винаходи;
- 53 251 патент на корисні моделі;
- 30 482 патенти на промислові зразки;
- 161 найменування місця походження товарів;
- 370 090 товарних знаків, поданих за національною процедурою;
- 187 315 товарних знаків, поданих за міжнародною процедурою.

Довідки про використання винаходів, захищених авторськими свідоцтвами *СРСР*, надаються зацікавленим фізичним та юридичним особам без будь-яких обмежень за звітами, що надійшли в Роспатент до 1999 року.

ЄАПВ – Євразійське патентне відомство. Має більше 30 локальних патентних баз даних, в яких на кінець 2010 року було більше 35 млн патентних документів. У локальних БД представлені патентні документи *ЄАПВ*, *ВОІВ*, Європейського патентного відомства, патентного відомства *США*, Росії (з 1924 року), а також патентні документи країн *СНД* і національних патентних відомств країн-членів *ЄАПВ*. У системі реалізовані засоби пошуку в зовнішніх патентних БД цифрових бібліотек інтелектуальної власності (*IPDL*) й в інформаційних системах: *Esp @ cenet*, *EPOLINE*, *JOPAL* та інших.

SIPO – державне відомство інтелектуальної власності Китайської Народної Республіки. Надає вільний доступ до документів китайською та англійською мовами, починаючи з 1985 року. Є можливість перекладу окремих документів за допомогою

технології машинного перекладу *CPMT*.

Patent Abstracts of Japan (PAJ) – бази даних патентного відомства Японії. Пропонує доступ до *БД* патентів і товарних знаків Японії з 1993 року англійською мовою. Нині в *БД* знаходиться понад 4.7 млн документів.

WIPO (World Intellectual Property Organization) – Всесвітня Організація Інтелектуальної Власності. Патентний пошук в *БД WIPO* здійснюється за допомогою пошукової служби *PATENTSCOPE®*, яка забезпечує безкоштовний доступ до Міжнародних патентних заявок і патентних документів. Патентна база даних *BOIB* містить інформацію про більш ніж 1,8 млн опублікованих міжнародних патентів. На сайті з'явився новий інструмент, який дозволяє шукати не тільки в колекції міжнародних патентних заявок, але й в патентних колекціях Африканської Регіональної Організації Інтелектуальної Власності (*ARIPO*), Аргентини, Бразилії, Куби, Ізраїлю, Марокко, Мексики, Республіки Корея, Сінгапуру, Південної Африки, Іспанії та В'єтнаму.

Patent Lens – онлайн сервіс патентного пошуку, створений незалежною некомерційною організацією Cambia. Дозволяє пошук патентів із *США*, Європи, Австралії та *BOIB*. *БД* містить понад 10 млн документів.

WikiPatents – безкоштовна пошукова система патентів, налічує понад 15 млн патентів. Постійно зростаюча база даних *WikiPatents* включає патенти і патентні заявки з *США*, Німеччини, Японії, Великобританії, Канади, Франції, Іспанії та Швейцарії. Про кожен патент видає коротку інформацію, у ній є швидка навігація по зображеннях патенту, завантаження патентів у різних форматах *TXT*, *RTF (Word)*, *PDF*. Відображає на карті місце проживання винахідника. *WikiPatents* також дозволяє перекладати за допомогою технології *Google*, коментувати й оцінювати будь-які патенти.

Surf IP – проект відомства інтелектуальної власності Сінгапуру. Дозволяє вести пошук у патентних базах даних Європейського патентного бюро (*EPO*), *США (USPTO)*, *WIPO*, Великобританії (*UK-IPO*), Японії (*JPO-IPDL*), Тайвані (*TIPO*), Канади (*CIPO*), Китаю (*SIPO*), Таїланд (*TIPIC*), Кореї (*KIPO*), Сінгапуру (*IPOS*).

Free Patents Online – пошукова система, що забезпечує швидкий доступ до мільйонів патентів і патентних заявок. Це одна з найпотужніших, швидких і простих систем патентного пошуку в Інтернеті. *Free Patents Online* дозволяє здійснювати пошук в *БД* патентного відомства *США*, Європейського патентного відомства, Всесвітньої організації інтелектуальної власності і Японському патентному відомстві. Зареєстрованим даються ширші можливості, наприклад,

повідомлення про надходження нових патентів. На сайті запущено цікаву систему відображення патентів на карті світу.

PRIORSMART – це новий безкоштовний ресурс, який забезпечує доступ до більш ніж 60 онлайн патентних баз даних. Дозволяє здійснювати пошук за назвою, рефератом, формулою винаходу, іменем власника патенту, ім'ям винахідника, описом і *МПК*. Інтерфейс представлений іспанською, англійською, французькою, німецькою, російською, японською, китайською та корейською мовами.

Визначення предмета пошуку починається з визначення цілей і завдань, що стоять перед проектом або роботою в цілому, або окремими їх складовими частинами, аналізу окремих технічних рішень, дібраних із технічної літератури. На основі такого аналізу попередньо формулюють у загальному вигляді найбільш прийнятні технічні рішення, спрямовані на виконання поставлених завдань. Встановлений предмет пошуку повинен бути виражений конкретним пристроєм або способом із зазначенням основних істотних ознак.

При виборі країн, за якими слід проводити пошук, орієнтуються на ті країни й регіони, де ця галузь знаходиться на найбільш високому рівні розвитку. Вивчаючи патенти цих країн, можна найбільш повно ознайомитися з рівнем розвитку техніки в даній галузі.

Глибина пошуку за часом залежить від тієї стадії роботи, по якій ведеться пошук, і від того, з якою метою він ведеться. На стадії планування доцільно розглядати нові описи за останні п'ять або сім років, в інших випадках часовий проміжок рекомендується розширити до двадцяти років. У будь-якому випадку при неможливості самостійної оцінки необхідних критеріїв пошуку рекомендується звернутися до профільних фахівців і патентним повіреним.

Використана література

1. Закон України «Про охорону прав на винаходи та корисні моделі». Редакція в 04.07.02 р., №3687-XII.
2. Короп І. В., Петренко В. П. *Інтелектуальна власність: Навч. посіб. / За заг. ред. Петренка В. П. – Івано-Франківськ: Факел, 2008. – 208с.*
3. Косіюк М. М., Черменський Г. П. *Основи науково-технічної творчості: Навч. посібник для втузів. – Хмельницький: Поділля, 1998. – 415с.*
4. Мікульонок І. О. *Інтелектуальна власність: навч. посіб. – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 240 с.*
5. *Правила складання і подання заявки на винахід та заявки на корисну модель. Документ 0173-01, редакція від 10.05.2005. ВР України.*
6. *Україномовний розділ відкритої багатомовної мережевої енциклопедії Вікіпедія. Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/>*

6 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ДІЯЛЬНІСТЬ

Проектно-конструкторська діяльність потребує врахування чимало обставин, тому з початку проектування до впровадження машини в промисловість проходить певний час. Як правило, чим складніша машина, тим триваліший час, який необхідний на розробку проектно-конструкторської документації на її створення. У кращому випадку між початком проектування та початком широкого випуску машини при відсутності вагомих недоліків та ускладнень проходять один-два роки, деколи три та більше років. При сучасних темпах технічного прогресу в машинобудуванні це великий період, так як протягом нього вдосконалюються й виникають нові вимоги й критерії працездатності майбутніх технічних систем.

Машини з заниженими параметрами, які базуються на шаблонних рішеннях і не забезпечують технічний прогрес, морально старіють уже до початку серійного виробництва. Робота, затрачена на проектування, виготовлення та доведення зразка стає марною, а промисловість не отримує потрібної машини.

Тому нову машину необхідно проектувати з урахуванням динаміки розвитку машинобудівної галузі промисловості на основі інженерного прогнозування, контролювати технічний рівень техніки, що створюється, на кожному етапі, в тому числі й перед початком розробки робочої конструкторської документації.

6.1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНІ ОСНОВИ

загальні відомості; види виробів; види конструкторських документів; стадії розробки проектно-конструкторської документації; монтажна, експлуатаційна та ремонтна документація

Загальні відомості

Найбільш відповідальним етапом у процесі творення нової машини, який починають після ретельного аналізу потреби та попиту є проектування.

Проектування – це творчий процес конструкторської діяльності, протягом якого на основі технічного завдання визначають у встановленому порядку та приймають відповідні технічні рішення на майбутню машину, фіксують знайдені рішення на спеціальних носіях інформації та захищають пріоритет шляхом патентування.

Але й надалі, протягом усього життєвого циклу машини, розробник постійно слідкує за виготовленням та експлуатацією машини, накопичуючи таким чином знання й досвід, які йому знадобляться в подальшому при модернізації діючої машини або створенні нової за зовсім іншими фізичними принципами. У цьому плані конструктивна критика машини виробником та споживачем відіграє суттєву роль та допомагає розробнику створювати

ефективні технічні рішення в майбутньому.

При всіх відмінностях сучасних галузей машинобудування задачі і принципи проектування машин у більшості однакові. Для конструкції будь-якої машини є важливим зменшення маси та матеріалоємності, поліпшення технологічності, збільшення надійності та довговічності тощо. Відмінним для кожної з них є лише значення цих факторів. Це дозволяє сформулювати принципи раціонального проектування як збірку загальних для машинобудування правил.

Завдання конструктора полягає в тому, щоб творити машини, які сповна відповідають потребам економіки, дають найбільший економічний ефект та мають найбільш високі техніко-економічні та експлуатаційні показники.

Проектування нової машини зазвичай починають лише після проведення ретельного інформаційного пошуку можливих технічних рішень за літературними та патентними джерелами. Виявлені в процесі інформаційного пошуку аналоги та прототип майбутньої машини піддаються критичному осмисленню та техніко-економічному аналізу.

І лише після цього приступають до проектування, тобто знаходження нового, ефективного технічного рішення. Проектування є творчим процесом, у якому обов'язково бере участь людина. Позитивний результат може бути досягнутий лише за наявності у розробника високого науково-технічного потенціалу, тобто високої кваліфікації. Конструктор нової техніки повинен добре знати галузь промисловості, для якої проектують машину, а також світові тенденції та напрям розвитку галузі й за потреби обґрунтовано довести необхідність корегування технічного завдання до початку проектування.

Сучасні методи проектування пов'язані із застосуванням комп'ютерної техніки та сучасного програмного забезпечення. Така обставина полегшує роботу конструктора та звільняє його від рутинної роботи, яка полягає в пошуку та зберіганні інформації, ручному викреслюванні та множенні проектної документації на технічні рішення, систематизації розроблених та існуючих варіантів рішень тощо. Але сучасні методи проектування не звільняють людину від основної функції, а саме, пошуку нових технічних рішень. Ці методи поділяють на дві групи: автоматизоване та автоматичне проектування.

Автоматизоване проектування – це проектування, при якому окремі перетворення описів об'єкта чи (або) алгоритму його функціонування або алгоритму процесу, а також описи різними

мовами здійснюються при взаємодії людини та комп'ютера за допомогою системи автоматизованого проектування (САПР).

Автоматичне проектування – проектування, при якому всі перетворення об'єкта чи (або) алгоритму його функціонування, а також описи різними мовами здійснюються без участі людини (окрім запуску необхідного обладнання та вводу первинного об'єкта, що здійснюється людиною).

Вихідними для проектування машини можуть бути такі матеріали та підготовчі роботи:

- технічне завдання, що видається організацією, яка планує розвиток галузі, або замовником, який визначає параметри машини, сферу та умови її застосування;
- технічна пропозиція, яку вносить за власною ініціативою проектна організація або група конструкторів;
- науково-дослідницька робота або створений на її основі експериментальний зразок;
- винахідницька пропозиція або створений на її основі експериментальний зразок;
- зразок машини, що підлягає вдосконаленню.

Технічне завдання є найбільш загальним вихідним документом, на основі якого зручніше всього прослідкувати процес проектування. До технічного завдання необхідно ставитися критично, особливо у тих випадках, коли замовником є не окремі підприємства, а галузь промисловості в цілому. У цьому випадку поряд із задоволенням вимог замовника доцільним також є забезпечення можливості застосування машини на інших підприємствах і в суміжних галузях промисловості.

Виконання і оформлення конструкторської документації та її використання на всіх стадіях життєвого циклу виробу (при проектуванні, розробленні, виготовленні, контролі, прийманні, зберіганні, експлуатації, ремонті та утилізації) повинні відповідати правилам та вимогам, які б забезпечували:

- використання сучасних методів і засобів на всіх етапах життєвого циклу виробу;
- можливість використання конструкторської документації різними підприємствами без її переоформлення;
- оптимальну комплектність конструкторської документації;
- механізацію та автоматизацію обробки конструкторських документів та інформації;
- високу якість виробів;
- наявність у конструкторській документації вимог безпеки використання об'єкта, охорони навколишнього середовища;

- можливість розширення уніфікації й стандартизації при проектуванні виробів та розробці конструкторської документації;
- можливість сертифікації виробу;
- скорочення термінів та зменшення трудомісткості підготовки виробництва;
- правильну і безпечну експлуатацію виробів;
- оперативну підготовку документації для швидкого переналадження діючого виробництва;
- спрощення форм конструкторських документів та графічних зображень;
- можливість створення і ведення єдиної інформаційної бази;
- можливість гармонізації стандартів використаної системи конструкторської документації з іншими міжнародними стандартами в галузі конструкторської документації, наприклад: *International Organization for Standardization – ISO*; *International Electrotechnical Commission – IEC*;
- можливість інформаційного забезпечення підтримки життєвого циклу виробу.

Всі ці вимоги викладені в системі конструкторської документації (СКД). Її основне призначення полягає у встановленні оптимальних правил, вимог і норм виконання, оформлення та обігу конструкторської документації. *ДСТУ 3321:2003* «Система конструкторської документації» встановлює українські терміни та визначення основних понять системи. Терміни, установлені цим стандартом, використовуються в конструкторській документації усіх видів, у довідковій та навчально-методичній літературі, коли це стосується конструкторської документації. Дія цього стандарту поширюється на вироби машинобудування та приладобудування.

Застосування стандарту *ДСТУ ГОСТ 2.601:2006* «Єдина система конструкторської документації» (ЄСКД) на території України нині носить рекомендаційний характер, оскільки ЄСКД – це набір міждержавних стандартів, система яких розвивалась ще за СРСР. Тобто ЄСКД може застосовуватись на добровільних засадах, якщо інше не передбачено договором чи законом.

Види виробів

Виробом називають будь-який предмет або набір предметів виробництва, які підлягають виготовленню на підприємстві.

Вироби залежно від їх призначення поділяють на вироби основного виробництва та вироби допоміжного виробництва. До

виробів основного виробництва належать ті, що призначені для постачання, тобто реалізації на ринку, а до виробів допоміжного виробництва – вироби, що призначені для власних потреб підприємства, яке їх виготовляє.

Для різних галузей промисловості встановлені відповідними нормативно-технічними документами такі види виробів: деталі, складальні одиниці, комплекси, комплекти.

Деталь – це виріб, що виготовлений з матеріалу одної марки без застосування складальних операцій.

Складальна одиниця – виріб, складові частини якого підлягають з'єднанню між собою шляхом складальних операцій (згинчуванням, клепаанням, зварюванням, паянням, запресовуванням, розвальцюванням, склеюванням, зшиванням тощо) на підприємстві-виробникові

Комплекс – два чи більше специфікованих виробів, що не з'єднані на підприємстві складальними операціями, але призначені для виконання взаємопов'язаних експлуатаційних функцій. Кожен із цих виробів, що входять у комплекс, служить для виконання однієї або декількох основних функцій, встановлених для всього комплексу, наприклад: автоматична лінія, бурова установка тощо.

У комплекс, окрім виробів, які виконують основні функції, можуть входити деталі, складальні одиниці та комплекси, призначені для виконання допоміжних функцій, наприклад: деталі та збірні одиниці, призначені для монтажу комплексу на місці його експлуатації, комплект запасних частин, складальних пристроїв, тари тощо.

Комплект – два чи більше виробів, які не поєднані на підприємстві-виробникові складальними операціями та являють собою набір виробів, які мають загальне експлуатаційне призначення допоміжного характеру. Наприклад, комплект запасних частин, комплект вимірювальної апаратури, комплект пакувальної тари тощо.

Структура видів виробів показана на рисунку 6.1.

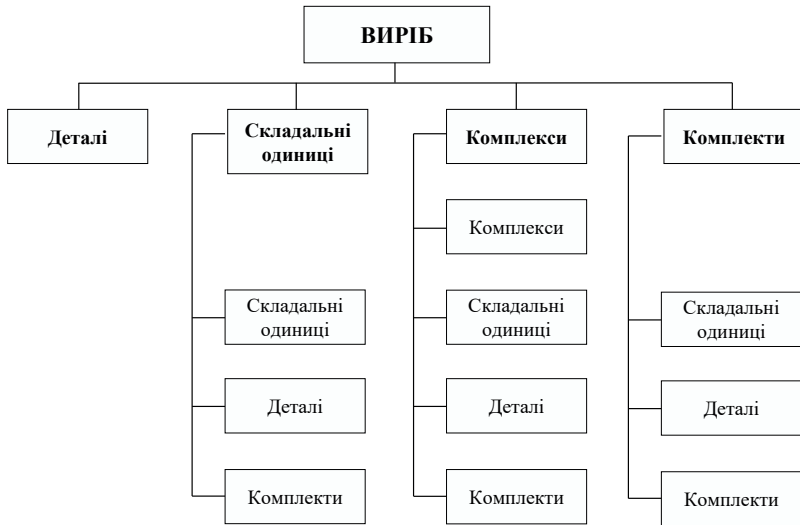


Рисунок 6.1 – Структура видів виробів

Окрім цього, вироби залежно від наявності або відсутності в них складових частин поділяють на неспецифіковані, які не мають складових частин, та специфіковані, які об'єднують у собі дві або більше складових частин. До перших можна віднести деталі, а до других складальні одиниці, комплекси та комплекти.

Види конструкторських документів

До конструкторських документів належать графічні та текстові документи, що окремо або в сукупності визначають склад і будову виробу та містять необхідні дані для його розробки або виготовлення, контролю, прийомки, монтажу, експлуатації і ремонту. Нижче наводимо види креслеників та текстових документів згідно з ЄСКД.

Електронна модель деталі – документ, що містить електронну геометричну модель деталі та вимоги до її виготовлення й контролю. Залежно від стадії розробки включає в себе граничні відхилення розмірів, шорсткість поверхні і таке інше.

Кресленик деталі – документ, що включає зображення деталі та інші дані, які необхідні для виготовлення й контролю.

Електронна модель складальної одиниці – документ, що містить електронну геометричну модель складальної одиниці, відповідні електронні геометричні моделі складових частин, властивості, характеристики та інші дані, які необхідні для складання

(виготовлення) і контролю. Сюди також включаються електронні моделі для виконання гідромонтажу і пневмомонтажу.

Складальний кресленик – документ, який містить зображення деталі та інші дані, що необхідні для складання й контролю.

Кресленик загального вигляду – документ, що визначає конструкцію виробу, взаємодію його основних складових частин і пояснює принцип роботи виробу.

Теоретичний кресленик – документ, який визначає геометричну форму виробу та координати розташування складових частин.

Габаритний кресленик – документ, що містить контурне зображення виробу з габаритними, установочними та приєднувальними розмірами.

Електромонтажний кресленик – документ, що містить дані, необхідні для виконання електричного монтажу виробу.

Монтажний кресленик – документ, що містить контурне зображення виробу, а також дані, необхідні для його установки (монтажу) на місці застосування.

Пакувальний кресленик – документ, що містить дані, які необхідні для пакування виробу.

Схема (наприклад *ГЗ, ПЗ, СЗ*) – документ, на якому показані у вигляді умовних позначень або символів складові частини виробу і зв'язки між ними. Види схем позначають буквами. Наприклад: гідравлічні – *Г*, пневматичні – *П*, газові (окрім пневматичних) – *Х*, кінематичні – *К*, енергетичні – *Р*, комбіновані – *С* та інші. Типи схем позначають цифрами: структурні – 1; функціональні – 2; принципів (повні) – 3 і так далі.

Електронна структура виробу – документ, що містить структуру виробу (складальної одиниці, комплексу або комплекту) та інші дані залежно від її призначення.

Специфікація – документ, що визначає комплектність складальної одиниці, комплексу або комплекту.

Відомості (специфікацій, посилань, покупних виробів, дозволів на використання покупних виробів, тримачів оригіналів, технічної пропозиції, ескізного проекту, технічного проекту) – документи, в яких наведені переліки зазначеної у назві відомості інформації.

Пояснювальна записка – документ, в якому описана будова та принцип дії виробу, що розробляється, а також обґрунтування прийнятих технічних та техніко-економічних рішень.

Відомість електронних документів – перелік документів виконаних в електронній формі.

Технічні умови – документ, який містить вимоги (сукупність усіх показників, норм, правил і положень) до виробу, його виготовлення,

контролю, прийомки та поставки, що недоцільно вказувати в інших конструкторських документах.

Програма і методика випробувань – документ, що містить технічні дані, які підлягають перевірці при випробуванні виробів, а також порядок і методи їх контролю.

Розрахунок – документ, де наведені розрахунки параметрів і величин, наприклад, розрахунок розмірних ланцюгів, розрахунок на міцність, жорсткість тощо.

Експлуатаційні документи – документи, які окремо або у сукупності з іншими визначають правила експлуатації виробу і відображають значення основних параметрів і характеристик (властивостей) виробу, гарантії.

Ремонтні документи – документи, які призначені для підготовки ремонтного виробництва, ремонту і контролю відремонтованих виробів та їх складових частин.

Інструкція – документ, що містить вказівки і правила, що використовуються при виготовленні, налагодженню, регулюванні, складанні, монтажі, експлуатації та решти етапів життєвого циклу виробу.

Стадії розробки проектно-конструкторської документації

Розробка проектно-конструкторської документації та на її основі робочої конструкторської документації на вироби усіх галузей промисловості передбачає певну послідовність (стадійність). Складові проектно-конструкторської документації розробляють у такому порядку: технічна пропозиція, ескізний проект, технічний проект. Після виконання цих проектних етапів здійснюється розробка робочої конструкторської документації на дослідний зразок (дослідну партію) виробу, на виріб серійного чи масового виробництва, або на виріб одиничного виробництва. Тобто за змістом робіт розрізняють такі чотири стадії розробки проектно-конструкторської документації на вироби всіх галузей промисловості:

- 1-ша стадія – технічна пропозиція;
- 2-га стадія – ескізний проект;
- 3-тя стадія – технічний проект;
- 4-та стадія – робоча конструкторська документація.

Обов'язковість виконання стадій розробки конструкторської документації та зміст робіт встановлюється технічним завданням на розробку. Технічне завдання є вихідним документом для розробки виробу і технічної документації на нього. Воно складається на основі аналізу досягнень науки й техніки, потреби виробництва й вимог

експлуатації майбутнього виробу. Необхідність розробки документації для виготовлення та дослідження експериментальних зразків встановлюється розробником.

Конструкторська документація для виготовлення експериментальних зразків розробляється на стадіях:

- ескізного проекту з метою перевірки принципів роботи виробу або його складових частин;
- технічного проекту з метою перевірки основних конструктивних рішень виробу, що розробляється, або його складових частин;
- робочої конструкторської документації з метою перевірки доцільності зміни окремих частин виробу та корегування кресленників для виготовлення дослідного зразка.

Вся конструкторська документація піддається таким видам контролю:

- нормалізаційному,
- технологічному,
- метрологічному,
- екологічному,
- ергономічному та іншим видам контролю, які на думку замовника, необхідно провести перед запуском у виготовлення дослідного зразка машини.

Нормалізаційний контроль передбачає перевірку конструкторської документації на відповідність вимогам, що встановлені нормативно-технічними документами.

Технологічний контроль – це перевірка конструкторської документації на можливість виготовлення окремих деталей, складання частин та машини в цілому із застосуванням відомих технологічних процесів та засобів технологічного оснащення.

Метрологічний контроль – це перевірка конструкторської документації на відповідність нормованим технічним показникам, що використані для оцінювання якості виготовлення деталей та складових частин машини, можливості вимірювання цих показників за допомогою існуючих приладів та з необхідною точністю.

Екологічний контроль полягає у попередженні розробки промислових виробів, які можуть недопустимо негативно впливати на навколишнє середовище.

Ергономічний контроль полягає в перевірці правильного врахування в конструкціях машини комплексу гігієнічних, антропологічних, фізіологічних та психологічних властивостей людини, які проявляються при експлуатації технічних систем.

Нижче зупинимося конкретніше на окремих стадіях

проектування без описання комплектності документації.

Технічна пропозиція – сукупність конструкторських документів, що містять технічне та техніко-економічне обґрунтування доцільності розробки документації на виріб.

Технічна пропозиція розробляється у випадку, якщо це передбачено технічним завданням із метою виявлення додаткових або уточнених вимог до виробу, які не могли бути зазначені в технічному завданні, а також містить техніко-економічне обґрунтування доцільності проектування машин. При цьому аналізуються можливі варіанти реалізації виробу, та порівнюється конструкція, що розробляється, з аналогічними; перевіряється її патентоспроможність тощо.

Обов'язковими видами конструкторських документів для технічної пропозиції є відомість технічної пропозиції та пояснювальна записка.

При розробці технічної пропозиції:

- виявляють варіанти можливих технічних рішень;
- перевіряють виявлені варіанти на патентну чистоту та конкурентоспроможність;
- встановлюють відповідність виявлених варіантів вимогам захисту навколишнього середовища, охорони праці та промислової санітарії;
- проводять порівняльну оцінку варіантів технічного рішення, що розглядаються.

За необхідності виготовляють макети для вибору оптимального технічного рішення.

Ескізний проект – сукупність конструкторських документів, які містять принципові конструкторські рішення, можливо, кількох варіантів машини (виробу) та дають загальні уявлення про будову і принцип роботи машини, а також дані, що визначають призначення, основні параметри та загальний вигляд виробу.

Конструкторська документація на стадії ескізного проекту включає в себе загальний вигляд машини, загальні види основних вузлів, необхідні схеми (кінематичні, гідравлічні чи інші), пояснювальну записку. Пояснювальна записка, як правило, містить такі розділи: технічна характеристика; опис будови та принципу дії; розрахунок техніко-економічних показників машини порівняно з найбільш високими на час проектування; розрахунки (кінематичні, гідравлічні, потужності приводу, динамічні, на міцність, на жорсткість тощо).

Обов'язковими видами конструкторських документів для ескізного проекту є відомість ескізного проекту та пояснювальна записка.

При розробці ескізного проекту:

- пропонують варіанти можливих технічних рішень;
- попередньо розглядають питання транспортування та монтажу майбутньої машини;
- виготовляють та випробовують макети й експериментальні зразки з метою перевірки вибраних принципів роботи виробу та його складових частин;
- розробляють та обґрунтовують технічні рішення, що направлені на забезпечення необхідних показників надійності;
- дають оцінку технологічності виробу;
- оцінюють виріб з точки зору стандартизації та уніфікації;
- оцінюють відповідність виробу вимогам ергономіки та технічної естетики;
- перевіряють варіанти, що розглядаються, на патентну чистоту та конкурентоздатність, оформлюють заявки на винахід;
- перевіряють виріб на відповідність вимогам захисту навколишнього середовища, охорони праці та промислової санітарії;
- виконують порівнювальну оцінку варіантів технічного рішення;
- виявляють нові засоби технологічного оснащення та матеріали, що необхідні для здійснення процесу виготовлення майбутньої машини;
- складають перелік робіт, які необхідно провести на наступних стадіях розробки;
- опрацьовують основні питання технології виготовлення;
- підготовляють пропозиції щодо розробки технічних регламентів для майбутньої машини.

Ескізний проект після відповідного погодження і затвердження є основою для розробки технічного проекту.

Технічний проект – сукупність конструкторських документів, які розробляються на основі затвердженого ескізного проекту і містять кінцеві технічні рішення, що дають повне уявлення про будову та принцип дії виробу а також вихідні дані для наступної стадії процесу проектування.

Обов'язковими видами конструкторських документів для технічного проекту є кресленик загального вигляду виробу, відомість технічного проекту та пояснювальна записка.

При розробці технічного проекту:

- розробляють конструктивні рішення виробу та його складових частин;

- виконують необхідні розрахунки;
- складають необхідні принципові схеми виробу та схеми з'єднань;
- розробляють та обґрунтовують технічні рішення, які забезпечують задані показники надійності;
- аналізують конструкцію виробу на технологічність;
- розробляють, виготовляють, досліджують макети та експериментальні зразки для перевірки технічних рішень;
- оцінюють відповідність виробу вимогам ергономіки та технічної естетики;
- аналізують можливості транспортування, зберігання та монтажу виробу;
- оцінюють експлуатаційні дані виробу;
- остаточно оформлюють замовлення на розробку та виготовлення нових засобів технологічного оснащення для виготовлення виробу;
- перевіряють виріб на патентну чистоту та конкурентоспроможність, оформлюють заявки на винахід;
- виявляють номенклатуру покупних виробів, що потрібні для виготовлення майбутньої машини;
- погоджують із замовником габаритні, установочні та приєднувальні розміри;
- оцінюють технічний рівень та якість виробу;
- за необхідності розробляють складальні кресленики на окремі вузли та робочі кресленики на відповідальні деталі;
- перевіряють виріб на відповідність вимогам захисту навколишнього середовища, охорони праці та промислової санітарії;
- складають перелік робіт, які слід провести на стадії розробки робочої конструкторської документації;
- підготовляють пропозиції щодо розробки необхідних нормативів для здійснення нормального функціонування майбутньої машини.

Погоджений та затверджений замовником та проектувальником технічний проект передається на розробку робочої конструкторської документації на виріб.

Робоча конструкторська документація – сукупність конструкторських документів, що дозволяють виготовити всі оригінальні деталі машини контролюючи при цьому їх якість, замовити стандартні та комплектуючі вироби, зібрати та випробувати виріб на дослідних зразках.

Робочу конструкторську документацію розробляють на основі

затвердженого технічного проекту з врахуванням технологічних умов підприємства-виробника майбутньої машинобудівної продукції. Документація повинна бути такою за обсягом, щоб дати можливість виготовити машину й провести її випробування.

Рекомендований склад конструкторських документів:

- складальні кресленики машини;
- складальні кресленики вузлів;
- специфікації;
- робочі кресленики деталей;
- принципові схеми (кінематичні, гідравлічні, пневматичні, електричні, оптичні, вакуумні, суміщені тощо);
- пояснювальна записка з технічною характеристикою машини й перевірочними розрахунками деталей та вузлів;
- проект технічних умов на виготовлення, приймання, пакування й транспортування;
- відомості покупних деталей і виробів;
- відомості оригінальних і нормалізованих деталей і вузлів;
- технічний паспорт;
- інструкція з експлуатації, обслуговування та монтажу;
- відомості погодження комплектуючих виробів;
- програма і методика випробування;
- сертифікат відповідності;
- розрахунки лімітної вартості й економічної ефективності;
- монтажна документація;
- ремонтна документація;
- експлуатаційна документація.

Як правило, робоча конструкторська документація виготовляється у певній послідовності. Спочатку розробляють робочу конструкторську документацію на дослідний зразок машини, за якою його виготовляють на, як правило, дослідно-експериментальному виробництві проектної організації або організації замовника.

Після проведення відповідних випробувань дослідного зразка (дослідної партії) та у випадку отримання позитивних результатів випробувань робочу документацію корегують з врахуванням виявлених недоліків та доповнюють її *монтажною, експлуатаційною та ремонтною документацією* в обсязі, передбаченому технічним завданням на розробку і передають машинобудівному заводу для організації серійного виробництва.

Завод-виробник здійснює технологічну підготовку власного виробництва для виготовлення машин та організовує їх сервісне обслуговування для споживачів машинобудівної продукції.

Перед запуском серійного виробництва інколи випускають установочну партію, за результатами експлуатації якої здійснюють додаткове корегування робочої конструкторської документації з подальшим серійним виробництвом.

Робочі кресленики мають містити всю необхідну інформацію для роботи з ними на будь-якому підприємстві без їх переробки; забезпечувати врахування, зберігання, внесення змін та не обмежувати технологів у виборі технологічного процесу за винятком випадків, коли технологічні вказівки є єдиними, що гарантують задану якість виробу.

Монтажна, експлуатаційна та ремонтна документація

Робоча конструкторська документація, після прийняття рішення про серійне виробництво нової машини, доповнюється супровідною документацією, що регламентує її працездатність після виготовлення. Як правило, це монтажна, експлуатаційна та ремонтна документація, пропозиції щодо утилізації та інші.

Монтажна документація. Містить інформацію про:

- монтажну характеристику обладнання (конструкція монтажних приєднувальних стиків, технічні вимоги до монтажу, місця розміщення баз для встановлення інструменту при монтажних вимірюваннях, вимоги до вимірювального інструменту при монтажі, вимоги до послідовності монтажного складання та інші технічні відомості);
- монтажну характеристику частин обладнання при транспортуванні (габарити, маса, місцеположенні центру мас, місця стропування);
- вимоги до фундаментів під обладнання тощо.

Тобто в монтажній документації повинна бути надана вся необхідна інформація для виконання технічно-правильного монтажу обладнання: доставки на експлуатаційний об'єкт, вантажно-розвантажувальних робіт та безпосередньо монтажу.

Експлуатаційна документація. Під експлуатацією виробу розуміють сукупність фаз існування виробу після його виготовлення, а саме: транспортування, зберігання, робота, технічне обслуговування. У цьому випадку технічне обслуговування включає в себе поточний ремонт, що виконується для забезпечення або відновлення працездатності виробу та полягає в заміні та (або) відновленні окремих деталей і вузлів. Більш складні види ремонту у поняття «експлуатація» не входять.

Більшість виробів, що розробляються та експлуатуються, успішно функціонують лише за участі людини. Виконання

виробом обсягу операцій залежить не лише від якості самого виробу, але й від професійності людини, яка бере участь у здійсненні функцій виробу. Окрім загальних фізіологічних, психічних та інтелектуальних можливостей людини, велику роль відіграє інформація, яку конструктор доносить обслуговуючому персоналу.

Якщо розглядати людину як елемент системи, що підтримує надійність виробу на заданому рівні, то буде зрозумілим, якою важливою для нього є інформація, що міститься в експлуатаційних документах, тобто в тій документації, що йому передається разом із виробом. Експлуатаційна документація, таким чином, є засобом спілкування розробника та виробника виробу із споживачем. Отже будь-яке порушення вимог до якості експлуатаційних документів за змістом та оформленням веде до втрати ефективності та надійності виробу. Від якості виконання експлуатаційних документів залежить ресурс виробу та в кінцевому рахунку якість самого виробу.

Тому до експлуатаційної документації висуваються особливі, може й найжорсткіші вимоги. Якість експлуатаційних документів оцінюється за двома найважливішими характеристиками: оптимальність інформації та її наочність (зручність отримання інформації). Оптимальність інформації – це передумова уникнення помилок обслуговуючого персоналу при експлуатації виробу. Наочність інформації – це, перш за все, швидкий та чіткий пошук необхідних відомостей, що дає можливість підвищити коефіцієнт готовності, знизити час вимушеного простою.

Комплект експлуатаційних документів є складовою частиною виробу, оскільки поставляється та використовується в більшості випадків разом із виробом.

У технічному завданні на розробку виробу наводять вимоги до експлуатаційної документації та кваліфікації обслуговуючого персоналу. Рекомендовані види та опис експлуатаційних документів наведені в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Види та опис експлуатаційних документів

Вид документа	Опис
Настанова з експлуатації	Є коротким описом виробу та правил його використання
Інструкція з монтажу, пуску, регулювання і обкатки виробу	Складають на монтаж, запуск, регулювання й обкатку виробу на місці його застосування й у випадку, якщо ці вимоги недоцільно або неможливо викласти в настанові з експлуатації

Продовження табл. 6.1

Вид документа	Опис
Формуляр	Документ складають на вироби, у період експлуатації яких необхідно вносити відомості про значення основних параметрів і характеристик (властивостей) виробу, що відображають технічний стан даного виробу та/або дані про процес експлуатації (тривалості й умови роботи, дані про проведення технічного обслуговування, ремонту та інші дані)
Паспорт	Складають на вироби, для яких обсяг необхідних для експлуатації даних і основних показників незначний і в період експлуатації якого немає необхідності вносити відомості про значення і/або підтвердження цих показників
Етикетка	Складають на вироби, для яких дані, що необхідні для експлуатації, не перевищують п'яти-шести основних показників, коли для підтвердження цих показників немає необхідності складати формуляр чи паспорт і технічно їх неможливо та/або недоцільно маркувати на виробі
Каталог виробу (деталей і складальних одиниць)	Складають на вироби, для яких протягом часу експлуатації передбачені неодноразовий ремонт і заміни складових частин
Норми витрати запасних частин	Середньо очікувана кількість замін складових частин через відмови і відпрацювання ресурсу за певний період експлуатації одного виробу
Норми витрати матеріалів	Очікувана середня кількість потрібних матеріалів за період експлуатації
Відомість ЗПП (запчастин, інструментів, пристосувань)	Складають на вироби, які окремо комплектують передбаченими для них комплектами ЗПП, а також наборами ЗПП (наприклад, ЗПП одиничний, груповий, ремонтний та ін.). Якщо кількість найменувань виробів і матеріалів незначна, то відомість допускається не розробляти, а їх номенклатуру перераховувати у формулярі чи паспорті
Навчально-технічні плакати	Навчально-технічні плакати для навчання та інструктування обслуговуючого персоналу
Інструкції експлуатаційні спеціальні	Документи складають на вироби, для яких протягом експлуатації слід виконувати спеціальні вимоги щодо використання за призначенням, технічного обслуговування, поточного ремонту, зберігання, транспортування та утилізації
Відомість експлуатаційних документів	Складають на вироби, в комплект експлуатаційних документів яких входить два і більше самостійних експлуатаційних документів

Відомості, що є необхідними для експлуатації виробу, можна згрупувати в одному документі під назвою «Керівництво з експлуатації».

Такий комплексний документ рекомендується складати тоді, коли розміщена в ньому інформація використовується в умовах експлуатації однієї служби.

Ремонтна документація. Ремонт – сукупність організаційних та технічних заходів, що виконують із метою відновлення справності або працездатності технічного пристрою. Ремонт можна умовно поділити на поточний, середній, капітальний тощо.

Поточний ремонт направлений на усунення відмов та неполадок, що виникають у процесі роботи машини та виконується при технічному обслуговуванні. Інші види ремонту вимагають зупинки машини та спрямовані на часткове або повне відновлення витраченого ресурсу машини.

Ремонтні документи (англ. *Repair documentation*) – це робоча конструкторська документація, яка містить дані для проведення ремонтних робіт та контролю якості виробів після ремонту.

Ремонтні документи призначені для підготовки ремонтного виробництва, самого ремонту і контролю технічного стану відремонтованих виробів та їх складових частин. Такі документи розробляють стосовно виробів, для яких за допомогою ремонту передбачається технічно можливе й економічно доцільне відновлення параметрів і характеристик (властивостей), що змінюються у процесі експлуатації та визначають можливість використання виробу за призначенням. При цьому враховують специфіку ремонту: на спеціалізованих підприємствах, на місці експлуатації чи комбіновано.

Ремонтну документацію розробляють на основі:

- робочої конструкторської документації на виготовлення виробів;
- експлуатаційної документації;
- технічних умов на виріб (за наявності);
- технологічної документації на виготовлення виробу (за наявності);
- матеріалів по дослідженню несправностей, що виникали при випробуванні і експлуатації виробів даного типу або аналогічних виробів інших типів;
- аналізу показників безвідмовності, ремонтпридатності, довговічності і збереження виробу при експлуатації до ремонту і в міжремонтні періоди;
- матеріалів по ремонту аналогічних виробів.

Відомості про виріб, що подаються в ремонтній документації, повинні бути мінімальними за обсягом, але достатніми для забезпечення правильного виконання ремонту. За необхідності у документації наводяться вказівки про необхідну кваліфікацію обслуговуючого персоналу.

Перелік конкретних документів, на основі яких розробляють ремонтну документацію, наводиться в технічному завданні на виготовлення ремонтної документації. Рекомендовані види ремонтних документів та їх опис наведено у таблиці 6.2

Таблиця 6.2 – Види ремонтних документів

Вид документа	Опис
Настанова щодо ремонтування	Містить вказівки щодо організації ремонту, правила та порядок капітального (середнього) ремонту виробу, контролювання, регулювання, випробовування, консервування, транспортування й зберігання виробу після ремонту, монтування й випробовування виробу на об'єкті, визначення показників і норм, яким повинен відповідати відремонтований виріб
Загальна настанова щодо ремонту	Містить загальні вказівки щодо організації і технології ремонту певної групи однотипних виробів, правила й порядок підготовки та виконання ремонту, значення показників і норм, яким повинні відповідати вироби після ремонту, правила та порядок випробовування, консервування, транспортування і зберігання після ремонту.
Технічні умови на капітальний та (чи) середній ремонт	Містить технічні вимоги, показники і норми, яким повинен відповідати даний виріб після капітального та (чи) середнього ремонту, вимоги до контрольних випробувань, комплектування, упакування, транспортування й зберігання виробу після ремонту
Загальні технічні умови на капітальний та (чи) середній ремонт	Містить загальні технічні вимоги, показники і норми, яким повинні відповідати всі вироби після капітального та (чи) середнього ремонту
Ремонтні креслення	Містять тільки ті зображення виробу, розміри, граничні відхилення і додаткові дані, згідно з якими його ремонтують та контролюють у процесі та після ремонту
Норми витрат запасних частин на ремонт	Містить номенклатуру запасних частин виробу та їх кількість, потрібну, щоб підготувати ремонтне виробництво, відремонтувати виріб та проконтролювати його під час ремонту і після нього
Норми витрат матеріалів на ремонт	Містить номенклатуру матеріалів і їх кількість, потрібну, щоб підготувати ремонтне виробництво, відремонтувати виріб та проконтролювати його під час ремонту й після нього
Відомість (розпис) комплекту запасних частин, інструментів та приладдя (ЗІП) на ремонтування	Містить номенклатуру та відомість про призначення і кількість запасних частин, інструменту, приладдя та матеріалів, потрібних, щоб ремонтувати виріб

Продовження табл. 6.2

Вид документа	Опис
Технічна документація на засоби оснащення ремонту	Містить інформацію для виготовлення, випробування та приймання ремонтно-технологічного та імітаційно-стендового оснащення ремонту. У її склад входять: • робочу конструкторську документацію на виготовлення, випробування та приймання (за необхідності); • технічні умови (за необхідності); • експлуатаційні документи
Відомість документів на ремонт	Встановлює склад комплекту конструкторських документів для виконання ремонту виробу

У комплект документів для ремонту, як правило, входять:

- ремонтні документи відповідно до таблиці 6.2;
- повний або неповний комплект робочої конструкторської документації на виготовлення виробу;
- експлуатаційні документи.

Розробка ремонтних документів може починатися одночасно з розробкою робочих конструкторських документів.

6.2 ЗАСАДИ КОНСТРУЮВАННЯ

*задачі і правила конструювання; скорочення номенклатури машин;
принципи конструювання; конструювання складальних одиниць*

Конструювання – це процес розробки комплексу технічної документації для створення технічної об'єкту, що полягає у визначенні форми, розмірів, взаємного розташування й параметрів частин й елементів конструкції об'єкта, його складових (агрегатів, систем, вузлів тощо), способу їхнього з'єднання, вибору матеріалів окремих елементів. Тобто свідоме та цілеспрямоване втілення винаходів, ідей та принципів, виконання розрахунків на основі знань з прикладних наук, виконання креслеників та інших дій, спрямованих на забезпечення заданих характеристик (якості) об'єкта, що конструюється.

Задачі і правила конструювання

Задачі конструювання полягають у тому, щоб створювати машини, які найбільш повно відповідають запитам економіки, дають найбільший економічний ефект, мають найвищі техніко-економічні й експлуатаційні показники, якими є:

- продуктивність, економічність;
- міцність, надійність;
- матеріаломісткість, маса, габарити;
- енергоємність;

- обсяг і вартість ремонтних робіт;
- витрати на оплату праці операторів;
- технічний ресурс;
- ступінь автоматизації;
- зручність обслуговування, керування, складання і розбирання;
- екологічна безпечність.

При створенні машин рекомендують дотримуватись низки правил, які можна згрупувати за ознаками забезпечення: стратегічного розвитку, оптимального конструктивного виконання, досягнення міцності, складання машин, експлуатації та безпеки машин, кожне із яких вимагає досягнення наведених далі намагань.

Стратегічний розвиток:

- підпорядковувати задачі конструювання збільшенню економічного ефекту, що визначається в першу чергу корисною віддачею машини, її довговічністю й експлуатаційними витратами за весь період використання машини;
- досягати максимального підвищення корисної віддачі шляхом збільшення продуктивності машини й обсягу виконуваних нею операцій, досягати всебічного зменшення експлуатаційних витрат машини та енергоспоживання, вартості обслуговування й ремонту;
- максимально забезпечувати автоматизацію машини з метою підвищення продуктивності, якості продукції і скорочення витрат на працю. Збільшувати надійність машини як засобу росту її корисної віддачі;
- запобігати технічному старінню машин, забезпечувати їх довготривалу експлуатацію, закладаючи в них високі вихідні параметри й передбачати резерви розвитку й послідовність удосконалення;
- закладати в машини передумови інтенсифікації їх використання в експлуатації шляхом підвищення універсальності й надійності;
- передбачати можливість створення похідних машин з максимальним використанням конструктивних елементів базової машини;
- скорочувати кількість типорозмірів машин, домагатися задоволення потреб народного господарства мінімальним числом моделей шляхом раціонального вибору їх параметрів і підвищенням експлуатаційної гнучкості;
- задовольняти попит мінімальним випуском машин шляхом збільшення їх корисної віддачі і ресурсу;
- вивчати тенденцію розвитку галузей народного господарства,

вести перспективне проектування;

- перевіряти всі нові технічні рішення за допомогою експериментальних моделей при проектуванні нових конструкцій, а також машин, що будуть здійснювати нові технологічні процеси;
- широко використовувати досвід своїх і суміжних галузей машинобудування, постійно удосконалювати технологічні процеси, для здійснення яких призначаються машини;
- безперервно удосконалювати конструкцію машини, яка знаходиться в серійному виробництві, підтримувати її на рівні зростаючих вимог промисловості;
- забезпечувати конструктивне напруження та вести підготовку випуску нових машин з більш високими показниками замість застарілих.

Оптимальне конструктивне виконання:

- уникати поверхонь тертя безпосередньо на корпусі машини, послідовно дотримуватись принципу агрегування;
- забезпечувати безперервну автоматичну подачу мастильних матеріалів до поверхонь тертя;
- уникати використання відкритих механізмів і передач;
- забезпечувати надійну страховку різьбових з'єднань від самовільного відкручування;
- запобігати корозії деталей, особливо у машин, які працюють на відкритому повітрі або в агресивному середовищі;
- зменшувати вартість виготовлення машин шляхом надання конструкції технологічності, уніфікації, стандартизації, зменшення матеріалоємності, скорочення кількості типорозмірів машин;
- зменшувати масу машин шляхом збільшення компактності конструкції, застосування раціональних кінематичних і силових схем, усунення невиконаних видів навантаження, а також шляхом застосування легких сплавів і неметалічних матеріалів;
- уникати складних багатодетальних конструкцій вузлів машин;
- замінювати в усіх випадках, де це можливо, механізми із зворотно-поступальним рухом на більш вигідні механізми з обертовим рухом;
- забезпечувати максимальну технологічність деталей, вузлів та машини в цілому, скорочувати обсяг механічної обробки, передбачати виготовлення деталей із заготовок, що близькі за формою і розмірами до деталі, здійснювати максимальну уніфікацію елементів конструкції, всебічно розширювати застосування стандартних деталей;
- не застосовувати оригінальних деталей і вузлів, де можна обійтися

- стандартними, економити дорогоцінні та дефіцитні матеріали;
- не економити на матеріалах для ключових деталей машини, від якості яких залежить надійність машини;
- надавати машині простих і гладких зовнішніх форм, дотримуватись вимог технічної естетики;
- розміщати органи керування й контролю по можливості в одному місці, робити доступними і зручними для огляду вузли й механізми, які потребують періодичної перевірки.

Досягнення міцності:

- забезпечувати високу міцність деталей і машин в цілому способами, які не призводять до збільшення маси;
- приділяти особливу увагу підвищенню циклічної міцності деталей;
- вводити у вузли і механізми, які працюють при динамічних навантаженнях, пружні елементи;
- надавати конструкціям достатньої жорсткості доцільними способами, які не потребують збільшення маси.

Складання машин:

- виключати підбір і підгонку деталей безпосередньо при складанні;
- ліквідувати операції вивірення, регулювання деталей і вузлів за місцем монтажу;
- виключити можливість неправильного складання деталей та вузлів, які потребують точної взаємної координації.

Експлуатація та безпека машин:

- конструювати машини з розрахунком на безремонтну експлуатацію з усуненням капітальних ремонтів комплектуванням машини змінними вузлами, які замінюються новими при відновлювальних ремонтах;
- всебічно збільшувати експлуатаційну надійність машин, досягаючи при можливості їх повної безвідмовної дії;
- виготовляти машини простими в обслуговуванні;
- усувати можливість виникнення поломок й аварій в результаті невмілого або необережного користування машиною;
- забезпечувати можливість регулювання і налагодження механізмів ручного обертання за допомогою серводвигунів;
- досконало вивчати досвід експлуатації машин й оперативно вводити в конструкцію виправлення дефектів, які виявляють у процесі її роботи;
- забезпечувати безпеку обслуговуючого персоналу;
- запобігати надмірному навантаженню машин при експлуатації;
- добиватися екологічної безпечності машин;

- запобігати неправильному вмиканню машин (напрям обертання електродвигунів, підключення кабельних штекерів тощо).

Скорочення номенклатури машин

Скорочення номенклатури об'єктів виробництва на основі раціонального вибору їх типу підвищує серійність випуску, розширює можливості механізації й автоматизації виробництва та впровадження прогресивних методів виготовлення з відповідним ростом продуктивності праці, зменшенням вартості продукції й підвищенням її якості.

Задача скорочення номенклатури й кількості об'єктів виробництва вирішується такими основними способами:

- створенням параметричних та уніфікованих рядів машин;
- універсалізацією (підвищенням універсальності) машин;
- закладенням у конструкцію резервів розвитку.

Створення параметричних та уніфікованих рядів. Сучасний стан ринку техніки характеризується широкою номенклатурою виробів. Але випуск надмірно великої номенклатури виробів, схожих за призначенням і конструктивним виконанням, здорожує їх виробництво та ускладнює уніфікацію. Одним із основних шляхів скорочення номенклатури й кількості типорозмірів виробів є використання стандартизованих рядів основних параметрів (параметричних рядів).

Параметрична стандартизація – це діяльність, що спрямована на вибір та встановлення доцільних числових значень параметрів, що підпорядковуються певній строгій математичній залежності.

Параметри виробів поділяють на основні та головні. Основні параметри визначають характерні конструктивні та експлуатаційні властивості виробів та процесів. Головні параметри виділяють із числа основних. Вони вирізняються стабільністю при подальших удосконаленнях, не залежать від матеріалів та технологій виготовлення і при цьому найбільш повно характеризують конструктивно-технологічні та експлуатаційні властивості виробу та процесів. Головних параметрів може бути як один, так і декілька.

Параметричними називають ряди машин однакового призначення з регламентованими конструкцією параметрами, градація яких встановлена з дотриманням визначених та чітко обґрунтованих рядів переважних чисел.

У багатьох випадках доцільно покласти в основу ряду єдиний тип машини й отримати необхідні градації зміною її розмірів або збереженням геометричної подібності модифікацій ряду. Такі ряди називаються розмірними.

В інших випадках доцільно встановити для кожної градації свій тип машин зі своїми розмірами. Такі ряди називають типорозмірними.

У діапазоні параметрів, що найчастіше використовуються, доцільно збільшувати кількість членів ряду, в діапазоні нечастого використання – розширити інтервали між членами ряду.

Одним із головних умов реалізації економічного ефекту параметричних рядів є тривалість їх використання.

Параметри уніфікованих рядів складаються за іншими законами, які залежать від реальних можливостей сполучення уніфікованих органів і умов технічного застосування членів ряду. Наприклад, уніфіковані ряди двигунів мають однакові шатунно-поршневі пари, але їх кількість та розташування – різне; параметричні ряди двигунів мають кількість та розміщення шатунно-поршневої пари однакове, але вона має різні діаметри та довжини ходу.

Універсалізація машин. Універсалізація машин переслідує мету розширення функцій машин, росту діапазону виконуваних нею операцій. Ця мета може досягатись як за рахунок додаткової комплектації машини пристосуваннями різного призначення чи змінними робочими органами, так і шляхом створення багатоцільової машини з широкими функціональними можливостями.

Вона збільшує пристосованість машин до вимог виробництва і підвищує коефіцієнт їх використання. Головний економічний ефект від універсалізації полягає в можливості скоротити кількість об'єктів виробництва, тому що одна універсальна машина замінює декілька спеціалізованих.

Важливо також встановити доцільну межу універсалізації. Оскільки машини, призначені для надто широкого діапазону функцій, конструктивно складні, громіздкі та незручні в обслуговуванні.

Закладення в конструкцію резервів розвитку. Надання машині резервів розвитку дозволяє систематично вдосконалювати машину й підтримувати її показники на рівні зростаючих вимог техніки. Метод розвитку позбавляє від необхідності частої періодичної заміни старіючих моделей, забезпечує на довгі роки стабільний випуск однієї конструкції, дає значний економічний ефект і є одним із основних способів зниження вартості машинобудівної продукції.

Метод резервів і послідовного розвитку машини, на відміну від інших методів зниження вартості машинобудівної продукції, універсальний і прийнятний для всіх категорій і класів машин, в тому числі й унікальних.

Принципи конструювання

Вихідним документом для проектування машини є технічне завдання, складене, як правило, замовником. До технічного завдання необхідно підходити критично. Воно не обмежує ініціативи

конструктора щодо прийняття прогресивних технічних рішень. Конструктор зобов'язаний перевірити завдання і при виявленні помилок обґрунтовано довести необхідність його корегування. Це можливо зробити тільки тоді, коли він добре знає галузь промисловості, для якої проектують машину. Сам процес творення машин базується на обґрунтованих досвідом принципах, виділених у окремі ознаки проектно-конструкторської діяльності.

Конструктивне наступництво – це використання при проектуванні попереднього досвіду машинобудування даного профілю і суміжних галузей, шляхом введення в агрегат, що проектується, всього корисного, що є в існуючих конструкціях машин. Кожна сучасна машина – це результат роботи конструкторів декількох поколінь. Початкову модель машини поступово вдосконалюють, доповнюють новими вузлами, збагачують новими технічними рішеннями, що є наслідком творчих зусиль і винахідництва попередніх поколінь конструкторів. Деякі конструктивні рішення відмирають, деякі залишаються і зберігаються довгий час в тому чи іншому вигляді, який їм дали творці.

Протягом часу підвищуються техніко-економічні показники машин, зокрема, потужність і продуктивність, збільшується ступінь автоматизації, експлуатаційна надійність, з'являються нові машини однакового призначення, але принципово інших конструктивних схем. У змаганні перемагають прогресивні й конкурентоспроможні конструкції.

Вивчення історії розвитку техніки дозволяє уникнути помилок і повторів пройдених етапів і разом з тим визначити перспективи розвитку машин. Корисно будувати графіки, що відображають зміну за роками головних параметрів машин (потужності, продуктивності, маси тощо) та конструктивних рішень. Аналіз цих графіків дає можливість складати чітко уявити те, якими будуть параметри машин та їх конструкції через декілька років.

Основна задача розробки нової конструкції полягає у правильному виборі параметрів машини. Якщо конструктивні помилки можна виправити в процесі виготовлення й доведення дослідного зразка машини, то помилки в параметрах і в основному задумі машини не піддаються виправленню і приводять до провалу конструкції. На цьому етапі не треба жаліти ні часу, ні зусиль на пошуки. При виборі параметрів машини необхідно враховувати конкретні умови її роботи, в тому числі у поєднанні із іншими технічними системами.

Перед вибором параметрів необхідно дослідити всі фактори, що визначають конкурентоспроможність машини, провести аналіз переваг і недоліків відомих конструкцій, вибрати правильний аналог і

прототип, виявити тенденції розвитку і потреби даної галузі машинобудування. Тому слід уважно вивчати вихідну інформацію при створенні нової конструкції.

Конструктор повинен знати інформацію про зміст пошукових і перспективних робіт, що проводять науково-дослідні організації даної і суміжної галузей машинобудування. Особливо корисно вивчати досвід передових галузей машинобудування, де конструкторська й технологічна думка продиктована високими вимогами до якості продукції (авіація, верстати, роботи). Творець нової машини повинен також володіти властивостями сучасних конструкційних матеріалів та новітніми технологічними процесами їх обробки. В іншому випадку він буде обмежений у виборі раціональної форми деталей і не закладе в конструкцію вимогу продуктивного виготовлення.

Конструктивне наслідування не обмежує творчої ініціативи розробника нової техніки, а навпаки – стимулює його на створення більш досконалих конструкцій. Потяг до вдосконалення конструкції стає потребою конструктора. Він отримує моральне задоволення тільки тоді, коли знаходить (інколи після наполегливих зусиль, досадних зривів і прикрих помилок) найбільш досконале технічне рішення, що веде до прогресу в машинобудуванні.

Вивчення сфери застосування. У промисловості відбувається процес безперервного удосконалення: ростуть обсяги продукції, скорочується виробничий цикл, з'являються нові технологічні процеси, змінюється компонування ліній, підвищується рівень автоматизації.

Таким чином ростуть і вимоги до технічних показників машин. Деякі машини з появою нових технологічних процесів стають не потрібними. Наприклад, розвиток конверторного виробництва сталі з подачею кисню приводить до зменшення застосування мартенівських печей; введення прогресивного процесу безперервної розливки сталі приводить до скорочення застосування таких складних машин, як блюмінги та слябінги.

Перед проектуванням машини необхідно ретельно вивчити галузь промисловості, динаміку її кількісного та якісного розвитку, потребу в даній категорії машин і вірогідність появи нових технологічних процесів і методів виробництва.

Конструктор повинен добре знати специфіку галузі й умови експлуатації майбутньої машини. Кращі конструктори – це ті, які пройшли школу виробництва й поєднують у собі конструкторські здібності та знання умов експлуатації об'єктів проектування.

Вибір конструкції. При виборі параметрів машини, основної схеми і типу конструкції в центрі уваги повинні бути фактори, що визначають економічну ефективність машини:

- висока корисна віддача;
- мале енергоспоживання;
- низькі витрати на обслуговування;
- низька вартість життєвого циклу (експлуатації, обслуговування та ремонтів тощо);
- тривалий термін експлуатації.

Схему машини в цілому вибирають шляхом паралельного аналізу декількох варіантів, які підлягають детальному порівнянню зі сторони конструктивної доцільності, досконалості, кінематичної та силової схем, вартості виготовлення, енергоємності, витрат на робочу силу, надійності, габаритів, матеріалоемності та маси, технологічності, ступеня агрегатування, зручності обслуговування, складання-розбирання, налагодження, регулювання тощо.

Також необхідно вияснити можливість створення на базі вихідної моделі похідних машин і модифікацій. Не завжди вдається при найретельніших пошуках знайти варіант, що повністю відповідає поставленим вимогам. Тоді приймають компромісне рішення, поступаючись показниками, що не мають вагомого значення. Часто вибирають варіант, що має не стільки значні переваги, скільки незначні недоліки.

Після вибору схем й основних показників машини розроблюють компоновку, на основі якої виконують ескізний, технічний і робочі проекти.

Розробка варіантів – справа не індивідуального стилю конструктора, а закономірний метод проектування, що дозволяє знайти раціональне рішення.

Принцип інверсії. Серед прийомів, що полегшують складну роботу конструювання, чільне місце займає метод інверсії (повернення функцій, форм і розташування деталей).

Іноколи буває доречним поміняти ролями деталі у вузлах, наприклад: ведучу деталь зробити веденою; нерухому деталь зробити рухомою; та, що охоплює на ту, що охоплюється тощо.

Інвертують також і форми деталей, наприклад: зовнішній корпус роблять внутрішнім, випуклу поверхню – увігнутою тощо. У деяких випадках вигідно перемістити конструктивні елементи з однієї деталі на іншу, наприклад: шпонку з валу на маточину, бойок з важеля на штовхач тощо.

Кожен раз при цьому конструкція набуває нових властивостей. Справа конструктора – зважити переваги і недоліки вихідного та

інвертованого варіантів з врахуванням надійності, технологічності, зручності в обслуговуванні і вибрати найкращий. У досвідченого конструктора метод інверсії є невід'ємним інструментом мислення і значно полегшує процес пошуку рішень, у результаті яких народжується раціональна конструкція.

Компонування. Машина є надзвичайно складним за своєю конструктивною основою пристроєм, а тому при його створенні неможливо обійтися без такого етапу проектування, як компоновання, у процесі якого необхідно прагнути до раціонального розміщення агрегатів з точки зору розподілу мас, зниження положення центру мас із метою підвищення стійкості окремих частин і машини загалом, до забезпечення необхідного простору для обслуговуючого персоналу й таке інше.

Компонування звичайно відбувається у два етапи: ескізного й робочого. В ескізній компоновці розробляють основну схему й загальну конструкцію машини (інколи декілька варіантів). На основі аналізу ескізної компоновки складають робочу компоновку, що уточнює конструкцію машини й служить вихідним матеріалом для подальшого проектування.

При компонуванні важливо вміти виділити головне від другорядного і встановити правильну послідовність розробки конструкції. Спроба скомпонувати одночасно всі елементи конструкції є помилкою, що властива конструкторам-початківцям.

Компонування необхідно починати з вирішення таких головних питань:

- виробу раціональних кінематичної і силової схем;
- правильного розміру й форми деталей;
- визначення найбільш вигідного взаємного розташування деталей і вузлів.

При компонуванні треба дотримуватись певних правил.

Перше правило – це йти від загального до детального, а не навпаки. Вияснення подробиць не тільки не корисне, але й шкідливе, тому що відволікає увагу конструктора від основних задач компоновання і збиває логічний хід розробки конструкції.

Друге основне правило компоновання – розробка варіантів, поглиблений їх аналіз і вибір найбільш раціонального. Не можна на цьому етапі проектування піддатися психологічній інерції і опинитися у владі стереотипів. З самого початку необхідно продумати всі можливі рішення й вибрати з них оптимальне для вихідних умов. Це потребує наполегливості й дається не одразу, а інколи в результаті довгих пошуків. Повна розробка варіантів не обов'язкова. У процесі компоновання необхідно виконувати орієнтовні розрахунки.

Основні деталі конструкції повинні бути розраховані на міцність і жорсткість. Довіряти інтуїції при виборі розмірів і форм деталей не варто.

Одне із правил трактує, що не завжди правильно повністю довіряти розрахункам. По-перше, існуючі методи розрахунків на міцність не враховують низку факторів, які визначають працездатність конструкції. По-друге, є деталі, що не піддаються точним розрахункам. По-третє, необхідні розміри деталей залежать не тільки від міцності, але й від інших факторів. Для деталей, що механічно обробляються, треба враховувати опір силам різання й надавати їм необхідну шорсткість. Деталі, що термічно обробляються, повинні бути достатньо масивними, щоб запобігти деформаціям. Розміри деталей керування необхідно вибирати з врахуванням зручності маніпулювання.

Із самого початку конструювання необхідно звертати увагу на те, щоб деталі машин мали технологічні форми їх виготовлення.

Компонування необхідно вести на основі нормальних розмірів, встановлених нормативними документами. Одночасно треба добитися максимальної уніфікації нормальних елементів встановлено-го зразку.

При компонуванні повинні також бути враховані всі вимоги, що визначають працездатність машини, а саме: розроблені системи мащення, охолодження, складання-розбирання, кріплення й приєднання суміжних деталей. А також передбачатися умови зручного обслуговування, огляду й регулювання механізмів, вибирати ефективні матеріали для основних деталей. Треба ретельно продумати способи підвищення довговічності, збільшення зносостійкості деталей тертя, способи захисту від корозії, дослідити можливості та визначити межі подальшого розвитку машини.

Гостра критика співробітників дає досить велику користь. На всіх стадіях компонування необхідно запрошувати для консультацій виробничників й експлуатаційників. Не слід жалкувати часу і сил на проектування. Вартість проектних робіт складає незначну долю вартості випуску машин (за винятком машин одиничного та малосерійного виробництва). Більш глибоке опрацювання конструкції в кінцевому результаті допоможе виграти у вартості, строках виготовлення і доведення, якості та економічності ефективності машини.

Компонування краще всього виконувати в масштабі 1:1, якщо цього допускають габаритні розміри об'єкта, що проектується. Не треба гаяти час на викреслювання подробиць. Для компонування рекомендують використовувати при викреслюванні міліметрову сітку.

Наведена методика конструювання машини, як і кожний

творчий процес, має суб'єктивний характер і в багатьох випадках залежить від досвіду, навичок і здібностей конструктора. Різними можуть бути хід компонування, послідовність розробки конструкції, а також конструктивні вирішення задач, що виникають при проектуванні. Описана методика акумулювала в собі працю багатьох поколінь конструкторів і, безперечно, допоможе молодим конструкторам підняти свій професійний рівень.

Конструювання складальних одиниць

Машина складається із окремих деталей (виробів), які виготовляють без складальних операцій. Деталі (частково або повністю) об'єднують у вузли, які являють собою закінчену складальну одиницю, що має загальне функціональне призначення.

Раціональний структурний поділ виробу на складові частини (вузли) є досить важливим, він має велике значення для організації виробництва.

Для проектування вузла необхідно мати уточнене формулювання задачі, місце установки й приєднувальні розміри, а також можливі зв'язки з іншими частинами виробу. Завданням на проектування вузла служить ескізне компонування промислового виробу або окреме технічне завдання на створення складальної одиниці.

Чорнове графічне опрацювання вузла конструктор повинен починати з графічного зображення прив'язок і виявлення частин суміжних спряжених вузлів, потім, помічаючи основну структуру, переходить до проектування.

У процесі проектування конструктор враховує можливість заводу-виробника, постійно продумує умови роботи вузла й умови його експлуатації, забезпечує кращі умови для ремонту, слідкує за дотриманням норм безпеки й промислової санітарії, обмежує номенклатуру нормалізованих та покупних виробів, необхідних для складання й особливо для регулювання вузла, враховуючи характер організації виробництва на заводі-виробнику.

Конструктивні форми й розміри деталей визначаються графічним зображенням на кресленнику вузла й повинні бути підтверджені розрахунками. Повністю розраховують лише навантажені деталі вузла, такі як підшипники, паси, вали, шпинделі, зубчасті колеса і так далі. При цьому уточнюють розміри деталей, вибирають матеріали, вид термічної обробки й конструкцію деталей. Такі деталі, як корпуси, фланці, кронштейни та інші, зазвичай не розраховують, їх розміри визначають виходячи з конструктивних і технологічних міркувань або на основі емпіричних рекомендацій.

Розрахунки на міцність, жорсткість, довговічність,

зносостійкість, вібростійкість, тепловіддачу і такі інші, виконують на всіх стадіях проектування одночасно з компонуванням вузла на кресленику. При цьому особливу увагу необхідно приділяти вибору критеріїв розрахунку, котрі визначають працездатність і надійність деталей машини.

Правильно спроектований вузол не повинен мати надлишкових запасів, тобто в ньому необхідно дотримуватися принципу необхідного і достатнього.

Конструктор, який розробляє складальну одиницю, повинен бути й технологом. Ні одного розміру, ні одної деталі у вузлі не повинні появитися без чіткого уявлення їх необхідності, раціональності, закладених допусків, баз і таке інше. Проектуючи вузол, конструктор повинен знати можливості виробництва й уявляти технологічний процес складання й обробки кожної деталі вузла, порівняльну вартість кожної операції.

Конструкція деталі повинна обов'язково передбачати можливість закріплення на верстаті для обробки і виставлення. Точності, які закладаються на деталях, повинні бути досяжними. Довжина посадочних поверхонь повинна бути мінімальною. Необхідно дотримуватись принципу єдності баз: конструкторських, технологічних, вимірювальних.

Конструктор повинен передбачати оптимальний варіант складання деталей вузла.

Складальний кресленик вузла повинен містити:

- зображення складальної одиниці з необхідною кількістю видів і розрізів для розуміння будови зображеного об'єкта;
- розміри з граничними відхиленнями, котрі перевіряються при складанні;
- з'єднувальні розміри з призначеними посадками;
- основні розміри, які характеризують вузол і його частини;
- розміри, які визначають місце установки проектованого вузла;
- ходи рухомих частин, частоти обертів і швидкості деталей;
- приєднувальні розміри;
- траєкторії руху рухомих частин вузла;
- номери позицій складових частин;
- технічну характеристику;
- технічні вимоги;
- габаритні та установочні розміри.

Технічну характеристику й технічні вимоги розміщують на вільному полі кресленика над основним написом у вигляді текстової частини. Текст записують зверху донизу.

Якщо потрібно вказати технічну характеристику виробу, то її

розміщують окремо від технічних вимог із самостійною нумерацією на вільному полі кресленика з написом «Технічні характеристики». При цьому над технічними вимогами розміщують заголовок «Технічні вимоги». Якщо технічну характеристику не наводять, то заголовок «Технічні вимоги» не пишуть. При виконанні креслеників на двох і більше аркушах технічні вимоги розміщують тільки на першому аркуші.

Технічну характеристику викладають у такій послідовності:

- призначення складальної одиниці;
- параметри функціонального призначення;
- габаритні розміри;
- маса.

Технічні вимоги на кресленику викладають, групуючи разом однорідні та близькі за характером необхідні вимоги, при можливості у такій рекомендованій послідовності:

- вимоги до матеріалу, заготовки, термічної обробки і до властивостей матеріалу готової деталі;
- матеріали-замінники;
- розміри, граничні відхилення розмірів, форми й взаємне розміщення поверхонь, маси й тому подібне;
- вимоги до якості поверхонь, вказівки щодо їх обробки, захисного покриття;
- зазори, розміщення окремих елементів конструкцій;
- вимоги до налаштування й регулювання виробу;
- інші вимоги до якості виробу, наприклад, безшумність, вібростійкість, самогальмування тощо;
- умови та методи випробувань;
- вказівки для маркування та таврування;
- правила транспортування та зберігання;
- особливі умови експлуатації;
- посилання на інші документи, що містять технічні вимоги, які поширюються на даний виріб, але не показані на кресленику.

При розробці робочих креслеників вузлів складальних одиниць необхідно ставити до них такі вимоги:

- оптимальне застосування стандартних і покупних виробів та виробів освоєних власним виробництвом, які відповідають сучасному рівню техніки;
- раціональне обмеження номенклатури різьб, шліців і подібних конструктивних елементів, покрить і так далі;
- раціональне обмеження номенклатури марок і сортamentів матеріалів;
- необхідний ступінь взаємозамінності, ефективні способи

виготовлення й ремонту, а також максимальні зручності в обслуговуванні та експлуатації.

До складального кресленика додають специфікацію, котра визначає комплектність складальної одиниці.

Перевірку вузла необхідно починати з перевірки прив'язок, умов монтажу, а вже потім проводити її відповідно до порядку складання окремих частин. При цьому необхідно ще раз перевірити виконання вимог, які визначають характеристику виробу й диктуються виробництвом, а також вимог, що витікають із принципу «необхідного й достатнього».

6.3 СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ В МАШИНОБУДУВАННІ

автоматизація конструкторської діяльності; основні функції та проектні процедури; програмне забезпечення

Основними вимогами до промислового виробництва є скорочення термінів виходу продукції на ринок, зниження її собівартості й підвищення її якості. Виконати ці вимоги неможливо без широкого використання методів і систем автоматизованого проектування, технологічної підготовки виробництва та інженерного аналізу.

Для автоматизації технологічного процесу проектування виробу використовується система автоматизованого проектування (САПР) або автоматизована система проектування (АСП). У результаті їх використання отримуємо комплект проектно-конструкторської документації, достатньої для виготовлення та подальшої експлуатації об'єкта проектування.

В області класифікації цих систем використовується ряд установлених англомовних термінів, що застосовуються для класифікації програмних продуктів і засобів автоматизації проектування за галузевим та цільовим призначенням. У машинобудуванні САПР досить часто позначаються MCAD (англ. *Mechanical Computer-Aided Design* – автоматизоване проектування механічних пристроїв). Вони реалізуються на базі спеціального програмного забезпечення, автоматизованих банків даних, широкого набору периферійних пристроїв у яких використовуються наступні комп'ютерні технології:

- *CAD (Computer-Aided Design)* – автоматизованого проектування;
- *CAM (Computer-Aided Manufacturing)* – автоматизованого виробництва;
- *CAE (Computer-Aided Engineering)* – автоматизованої розробки;
- *CALS (Continuous Acquisition and Lifecycle Support)* – постійної інформаційної підтримки поставок і життєвого циклу.

Технології автоматизованого проектування зазвичай застосовуються спільно з автоматизованим конструюванням (інженерним аналізом, *CAE*) і автоматизованим виробництвом (*CAM*), дозволяючи вирішувати завдання і виконувати операції, що виникають в процесі розробки і виробництва продукту, а також на інших етапах його життєвого циклу. Застосування у створенні виробів *CAD/CAM/CAE*-систем є ключовим моментом стратегії *PLM* (англ. *Product Lifecycle Management* – управління життєвим циклом виробу), що є сукупністю процесів, які виконуються від моменту виявлення потреб суспільства в певному продукті до утилізації виробу після його використання.

Автоматизація конструкторської діяльності

Автоматизоване проектування (*Computer-Aided Design*) є технологією, яка полягає у використанні комп'ютерних систем для полегшення створення, зміни, аналізу та оптимізації проектів. Таким чином, будь-яка програма, що працює з комп'ютерною графікою, так само, як і будь-який додаток, що використовується в інженерних розрахунках, належить до систем автоматизованого проектування. Іншими словами, безліч засобів *CAD* починається від геометричних програм для роботи з формами до спеціалізованих додатків для аналізу та оптимізації. Між ними вміщаються програми для аналізу допусків, розрахунку мас-інерційних властивостей, моделювання методом кінцевих елементів і візуалізації результатів аналізу. Найголовніша функція *CAD* – визначення геометрії конструкції (деталі механізму, архітектурні елементи, електронні схеми, плани будівель тощо), оскільки геометрія визначає всі наступні етапи життєвого циклу продукту. Для цієї мети зазвичай використовуються системи розробки робочих креслеників і геометричного моделювання. Ось чому ці системи зазвичай і вважаються системами автоматизованого проектування. Більше того, геометрія, визначена в цих системах, може використовуватися як основа для подальших операцій у системах *CAE* і *CAM*. Це одна з переваг *CAD*, що дозволяє економити час і скорочувати кількість помилок, пов'язаних із необхідністю визначати геометрію конструкції з нуля кожного разу, коли вона потрібна в розрахунках. Можна стверджувати, що системи автоматизованої розробки робочих креслеників і системи геометричного моделювання є найбільш важливими компонентами автоматизованого проектування. Автоматизація проектування – також невідворотний процес, як і автоматизація виробництва (*Computer-Aided Manufacturing*). В тому і іншому випадку мета одна – підвищення продуктивності праці і якості продукції.

Незважаючи на те, що проектування є складовою частиною процесу створення нової техніки (і через те належить до виробничої діяльності людини), у ньому досить істотні творчі початки, що надає йому рис мистецтва. А автоматизм і творчість – поняття суперечливі. Доведена до автоматизму праця перестає бути творчою. Але як і будь-які інші суперечливі поняття, автоматизація і творчість існують у діалектичній єдності. Їх об'єднує майстерність. Творчий працівник, будь він художником, музикантом або конструктором, вважається майстром, якщо досконало володіє технікою своєї професії, технікою, доведеною до автоматизму. Досвідчений конструктор володіє прийомами і методами пошуку варіантів технічних рішень, їх порівняння й вибору найкращого, аналізу технічних систем, синтезу, визначення оптимальних параметрів та інше.

САПР вже зараз у змозі допомогти конструктору при виконанні багатьох процедур і операцій. Це перш за все стосується проєктувальних і перевірочних розрахунків, пошуку необхідної інформації, проведення кінематичного й динамічного аналізу об'єкта проєктування, оптимізації його параметрів, математичного та геометричного моделювання. Нині створюють елементи *САПР* для пошукового конструювання, що включають синтез варіантів технічних рішень і вибір із них оптимального.

Сучасне проєктування в техніці є майже повністю автоматизованим. Тому підготовка технічних фахівців у вищих технічних навчальних закладах повинна навчати роботі в середовищах *САПР*. Випускник технічного вузу повинен знати методи автоматизованого проєктування, уміти ставити й вирішувати завдання аналізу й синтезу проєктних рішень у своїй предметній галузі за допомогою існуючих програм моделювання, оптимізації, конструювання, підготовки конструкторської та технологічної документації. Недостатньо вивчити інтерфейс однієї-двох програм *САПР*. Динамічний розвиток програмного забезпечення автоматизованого проєктування може швидко знецінити набуті навички, якщо вони не підкріплені глибокими знаннями методів і технологій *CAD/CAM/CAE* та *CALS*.

Основні функції та проєктні процедури

Функції *CAD*-систем у машинобудуванні розділяють на функції двовимірного (*2D*) і тривимірного (*3D*) проєктування. До функцій *2D*-моделювання відносять створення креслеників та оформлення конструкторської документації; до функцій *3D*-моделювання – отримання тривимірних геометричних моделей, розрахунки масо-центровочних характеристик, реалістична візуалізація, взаємне перетворення *2D*- і *3D*-моделей та створення зборок моделей.

Синтез моделей зборок виконують шляхом застосування операцій позиціонування й теоретико-множинних операцій перетину, об'єднання, віднімання та додавання типових (бібліотечних) елементів і новостворених моделей деталей. У низці систем передбачено також виконання операцій компонування і розміщення обладнання тощо.

Основні функції *CAM*-систем: розробка технологічних процесів; синтез керуючих програм для технологічного обладнання з числовим програмним керуванням (*ЧПК*); моделювання процесів обробки, в тому числі побудова траєкторій відносного руху інструменту і самої заготовки в процесі її обробки; генерація постпроцесорів* для конкретних типів обладнання з *ЧПК*; розрахунок норм часу обробки.

У розвитку *CAD/CAM*-систем слід відзначити такі тенденції:

- інтеграція *САПР* з іншими системами, що підтримують життєвий цикл виробів;
- реалізація можливостей колаборативного проектування на базі використання Internet.

Функції *CAE*-систем досить різноманітні, тому що пов'язані з проектними роботами аналізу, моделювання, оптимізації проектних рішень, розрахунку. Машинобудівні *CAE*-системи – це різноманітні програмні продукти, що дозволяють за допомогою різних методів розрахунку (метод кінцевих елементів, метод кінцевих різниць, метод кінцевих об'ємів) проводити оцінку стану моделі виробу в умовах експлуатації, що допомагає перекоонатися в працездатності виробу, без значних затрат часу і засобів.

Функції *CALS* для забезпечення інформаційної підтримки життєвого циклу продукції на всіх його стадіях, полягають у використанні єдиного інформаційного середовища, що забезпечує взаємодію за допомогою обміну стандартизованими електронними даними між усіма його учасниками, а саме: замовника, розробника, виробника, експлуатаційного і ремонтного персоналу. В основі цих технологій лежать інтегровані інформаційні моделі життєвого циклу виробів і моделі його виробничого та експлуатаційного середовища при виконанні виробами своїх бізнес-процесів.

Програмне забезпечення

Як правило, машинобудівні *САПР* мають багатомодульну структуру. До складу розвинених *САПР* входять підсистеми:

- геометричне (графічне) ядро (прикладом є *Parasolid* і *ACIS*);
- підсистема двовимірної (*2D*) графіки, яка використовується перш за все для отримання креслярської документації;

*Постпроцесор – програмний модуль, призначений для перетворення керуючої траєкторії, яка сформована *CAM* системою, в керуючу програму для конкретного верстата з *ЧПК* з врахуванням особливостей його кінематики.

- підсистема *3D* твердотілого (об'ємного) моделювання (в ній реалізуються процедури конструктивної геометрії з використанням базових елементів форми);
- підсистема *3D* поверхневого моделювання, яка використовується для проектування деталей зі складними поверхнями (лопатки турбін, корпусу літаків, автомобілів, кораблів і т. п.) яку називають підсистемою промислового дизайну;
- спеціалізовані модулі, орієнтовані на проектування виробів певного типу, наприклад, штампів, деталей із листових матеріалів, литих виробів і таке інше;
- підсистема *CAM* для проектування технологічних процесів, синтезу програм для обладнання з *ЧПК*, моделювання механічної обробки;
- база даних, включаючи архівні та довідкові підсистеми;
- підсистема інженерного аналізу, що включає програми типу *Ansys* і *Adams* для моделювання виробів на мікро- і макрорівнях;
- підсистема імпорту й експорту (обміну) даних із підтримкою низки використовуваних графічних форматів;
- підсистема *PDM* управління даними й проектуванням.

Розглянемо реалізацію функцій і процедур проектування на прикладах популярних сучасних програмних продуктів для машинобудування.

NX (раніше «*UniGraphics*») – провідна *CAD/CAM/CAE*-система від компанії *Siemens PLM Software*, що використовується для геометричного моделювання та конструкторсько-технологічного проектування, в тому числі розробки великих зборок, розрахунків на міцність і створенні конструкторської документації та дозволяє розробляти власні засоби автоматизації на базі платформи *NX*. У цій системі використовується концепція майстер-процесів – засобів інтерактивного проектування, що дозволяє враховувати особливості конкретних програм. Конструкторська частина системи (підсистема *CAD*) має засоби для твердотілого конструювання, геометричного моделювання на основі сплайнів моделей поверхонь, для створення креслеників з використанням *3D*-моделі, проектування зборок (в тому числі з сотнями і тисячами компонентів) з урахуванням асоціативності, а також для аналізу допусків і таке інше. Для геометричного моделювання використовується власне графічне ядро *Parasolid*. У технологічній частині системи (підсистема *CAM*) передбачено розробку керуючих програм для токарної й електроерозійної обробки, синтез й аналіз траєкторій інструменту при фрезеруванні для три- і п'ятикоординатної обробки при проектуванні

прес-форм і штампів та інше. Для інженерного аналізу (підсистема *CAE*) в систему включені: модулі аналізу міцності з використанням *MSE* з відповідними препроцесорами* і постпроцесорами; кінематичного й динамічного аналізу механізмів з визначенням сил, швидкостей і прискорень; аналізу ливарних процесів пластичних мас тощо.

CATIA – система вищого рівня, що використовується на всіх етапах розробки виробів від створення його концепції до технологічної підтримки виробництва і планування виробничих ресурсів. У системі реалізовані поверхневе і твердотіле *3D*-моделювання та оптимізація характеристик виробу. Система працює на оригінальному графічному ядрі *CNEXT*. Передбачені можливості фотореалістичної візуалізації та відновлення математичної моделі з матеріального макета. Система масштабується. Споживачу пропонуються типові конфігурації, в тому числі варіанти для повнофункціонального наскрізного проектування складних виробів і проектування комплектуючих на невеликих і середніх підприємствах. До особливостей системи можна віднести наявність модуля формалізації знань, спрямованих на оптимізацію конструкцій та принципів проектування, і антропологічного модуля для моделювання деяких параметрів людини в людино-машинних системах.

Solid Edge – система твердотілого і поверхневого моделювання, істотною перевагою якої є високий ступінь інтегрованості з системою *NX* (раніше *UniGraphics*). Оскільки ці системи підтримує одна і та ж компанія, то в них використовується однакове графічне ядро – *Parasolid*. До *Solid Edge* включено варіаційний вирішувач *D-Cubed* і в ній використовується графічний користувальницький інтерфейс *Microsoft Fluent*. Технологія конструювання в *Solid Edge* аналогічна іншим, які використовуються в розвинених системах. В останніх версіях системи *Solid Edge* реалізовано синхронне геометричне моделювання. Конструктивні елементи задаються у вигляді перетинів *3D*-форми; ці перетини витягуванням або обертанням перетворюються у модель деталі.

SolidWorks – система для твердотілого параметричного проектування механічних конструкцій, яка побудована на графічному ядрі *Parasolid* та допомагає розробляти більш якісні вироби в більш стислі терміни. Дана програма являє собою комплекс програмних рішень для проектування, який включає в себе всі необхідні інструменти для механічного проектування, верифікації, симуляції руху, адміністрування даних і комунікації з іншими учасниками проекту. Синтез конструкції починається з побудови опорного тіла за допомогою операцій типу видавлювання, протягування або обертання

контур з подальшим додаванням і/або відніманням тих чи інших елементарних тіл. Використовується технологія граничного моделювання (*B-representation*) з аналітичним або сплайновим описом поверхонь. При проектуванні збірок на основі бібліотек елементів форми (*БЕФ*) можна задавати різні умови взаємного розташування деталей, автоматично контролювати зазори й відсутність взаємоперетинів деталей. До системи входить модуль оцінки міцності *Cosmos/Works*. Модуль управління даними й проектуванням (*PDM*) дозволяє адмініструвати і синхронізувати інформацію про проект в межах всієї команди розробників виробу у вигляді єдиного і легко впроваджуваного рішення, тісно пов'язаного з усіма іншими додатками *SolidWorks*.

AutoCAD – ця система автоматизованого 3D-проектування і 2D-кресленики розроблена компанією *Autodesk*. Система та її спеціалізовані додатки знайшли широке застосування в машинобудуванні, будівництві, архітектурі та інших галузях промисловості. Ранні версії *AutoCAD* оперували невеликим числом елементарних об'єктів, такими, як кола, лінії, дуги і текст, з яких утворювалися складніші. Тому *AutoCAD* заслужив репутацію «електронного кульмана», яка залишається за ним і дотепер. Однак на сучасному етапі можливості *AutoCAD* значно більші та набагато перевершують можливості «електронного кульмана».

Двовимірне проектування *AutoCAD* як і раніше дозволяє використовувати елементарні графічні примітиви для отримання складніших об'єктів. Крім того, програму можна використовувати для роботи з анотативними об'єктами (розмірами, текстом, позначеннями). Використання механізму зовнішніх посилань (*XRef*) дозволяє розбивати кресленики на складові файли, за які відповідають різні розробники, а динамічні блоки розширюють можливості автоматизації 2D-проектування звичайним користувачем без використання програмування. Починаючи з версії 2010, в *AutoCAD* реалізована підтримка двовимірного параметричного кресленика.

Останні версії програми включають повний набір інструментів для комплексного тривимірного моделювання (підтримується твердотіле, поверхневе й полігональне моделювання). *AutoCAD* дозволяє отримати високоякісну візуалізацію моделей. Також у програмі реалізовано управління тривимірним друком (результат моделювання можна відправити на 3D-принтер). До складу *AutoCAD* включена програма *Inventor Fusion*, яка реалізує технологію прямого моделювання. *AutoCAD 360* (раніше *AutoCAD WS*) – інтернет-додаток на базі хмарних обчислень, а також програма для мобільних пристроїв на *Apple iOS* (*iPad* і *iPhone*) і *Android*. У додатку є можливості

створення та редагування файлів, пропонується онлайн-сховище для документів, є можливість підключення інших хмарних сервісів. У *AutoCAD 2016* передбачена можливість прямого зв'язку з даним сервісом. Слід зазначити, що відсутність тривимірної параметризації не дозволяє *AutoCAD* безпосередньо конкурувати з машинобудівними САПР середнього класу, такими як *Inventor*, *SolidWorks* та іншими.

Inventor – система призначена для твердотілого параметричного проектування, орієнтована на розробку великих зборок із сотнями й тисячами деталей, має розвинену бібліотеку стандартних елементів. Система *Inventor* побудована на графічному ядрі *ACIS* (на базі цього ядра в *Autodesk* створено власне ядро *Shape Manager*). Синтез 3D-моделей можливий видавлюванням, обертанням, по перетинах, по траєкторіях. Із 3D-моделі можна отримати 2D-кресленики та специфікації матеріалів. Підтримується колективна робота над проектом, в тому числі в межах однієї й тієї ж зборки. Передбачена автоматична перевірка кінематики, розмірів деталі з урахуванням положення сусідніх деталей у збірці. Зручність роботи конструкторів обумовлена тим, що асоціативні зв'язки задаються не шляхом опису операцій із параметрами і рівнянь, а безпосередньо визначенням форми і положення компонентів.

У сполученні із програмами *Inventor* і *Solid Edge* можна використовувати програму кінцево-елементного аналізу *Cosmos/DesignSTAR*, за допомогою якої проводять аналіз деформованого стану деталей, стаціонарних і нестаціонарних теплових процесів, динаміки рідин і газів, низькочастотних електромагнітних полів, визначають власні частоти коливання конструкцій.

Pro/Engineer – є системою у якій базові модулі конструкторського проектування призначені для твердотілого і поверхневого моделювання, синтезу конструкцій із базових елементів форми, підтримки параметризації й асоціативності, проекційного креслення й розробки креслеників із проставлянням розмірів і допусків. Користувач може поповнювати бібліотеку оригінальними моделями. Для системи розроблено графічне ядро *Granite One*. Додаткові модулі конструкторського проектування мають чітку, але вузьку спеціалізацію. Прикладами таких модулів можуть бути модулі конструювання панелей із композиційних матеріалів, розробки штамів і ливарних прес-форм, трубопроводних систем, зварних конструкцій, розводки електричних кабелів і джгутів. Модулі функціонального моделювання використовуються як пре- і постпроцесори в програмах кінцево-елементного аналізу (нанесення сітки кінцевих елементів, візуалізація результатів аналізу), аналізу теплового стану

конструкцій, оцінки вібростійкості та інші. Основні модулі технологічного проектування служать для моделювання технологічних процесів фрезерної, токарної, електроерозійної обробки й для розробки постпроцесорів для систем управління обладнанням з ЧПК, хоча САМ-засоби в *Pro/Engineer* не є сильною стороною системи.

Особливістю нової версії системи *Pro/Engineer*, що називається **Wildfire**, є використання Internet для організації спільного проектування, в тому числі для організації відеоконференцій розробників. Помітно спрощений інтерфейс користувача завдяки введенню ієрархії піктограм.

CAD-системою комп'ютерної алгебри, що має простий й інтуїтивний для використання інтерфейс користувача, є *Mathcad Prime* компанії PTC, яка у 1986 році створила революцію в цифровому 3D-моделюванні та зробила інжинірингову підготовку виробництва загальнодоступною і простою. Тепер перевірені рішення PTC допомагають компаніям легко трансформувати свій підхід до створення, експлуатації та обслуговування виробів.

PTC Mathcad Prime – це краще рішення для ведення інженерних обчислень, яке одночасно дозволяє вести самі обчислення й документувати їх, істотно знижуючи ризик появи «дорогих» помилок. *PTC Mathcad Prime* дозволяє інженерам займатися проектуванням, виконувати обчислення та документувати роботу у форматі зручному для спільного й повторного використання, і який легко читається. *PTC Mathcad Prime* відрізняється від попередніх версій надійністю, простотою використання, володіє всіма функціональними можливостями, необхідними для вирішення комплексних завдань, які вимагають застосування математичного апарата. У процесі інженерної діяльності значно спрощено використання обчислень в *PTC Mathcad Prime* завдяки «безшовній» інтеграції *PTC Mathcad Prime* із всесвітньо відомими інженерними та офісними додатками. Все це полегшує спільну роботу інженерів на всіх етапах розробки, рішення завдань верифікації, сертифікації та публікації інженерних документів. Результатом використання *PTC Mathcad Prime* є прискорення процесів розробки виробів більш ніж на 40%, підвищення їх якості, краща відповідність споживчим вимогам і стандартам. *PTC Mathcad Prime* використовується в усіх сферах економічної діяльності та є якісним інструментом для підвищення прибутковості та конкурентоспроможності підприємств.

Функціональні можливості *PTC Mathcad Prime* дозволяють:

- об'єднати інженерно-орієнтовані математичні записи, відформатовані тексти, графіки та зображення в єдиний документ, для спільного виконання роботи та полегшення візуалізації,

- перевірки та документування її результатів;
- брати похідні, розраховувати корені рівнянь, аналізувати дані, вирішувати системи рівнянь і звичайні диференціальні рівняння і таке інше. При зміні будь-якого числа або рівняння автоматично виконується миттєвий перерахунок всіх даних у документі. Легко виконується перетворення одиниць вимірювання з однієї системи в іншу;
- знаходити при обчисленнях помилки, допущені в одиницях виміру. Одиниці виміру підтримуються у функціях, графіках і масивах;
- імпортувати з таблиць *Excel*, аналізувати й експортувати назад в *Excel*;
- легко інтегрувати з іншими інженерними додатками *PTC*.

Математичні розрахунки можна переносити в *САПР Creo Parametric* (раніше *Pro/ENGINEER*) і застосовувати результати до конструкцій. Для поширення документів та розрахунків в організаціях і територіально розподілених командах можна використовувати систему управління даними *Windchill Workgroup Manager*.

При створенні документів-програм використовується принцип *WYSIWYG* (*What You See Is What You Get* – «що бачиш, те й отримуєш»). Незважаючи на те, що ця програма здебільшого орієнтована на користувачів-непрограмістів, *Mathcad* також використовується в складніших проектах, щоб візуалізувати результати математичного моделювання використання найбільш поширених обчислень і традиційних мов програмування. *Mathcad* доволі зручно використовувати для навчання, обчислень і інженерних розрахунків.

Основна відмінність *Mathcad* від аналогічних програм – це графічний, а не текстовий режим введення виразів. Для набору команд, функцій, формул можна використовувати як клавіатуру, так і кнопки на численних спеціальних панелях інструментів. У будь-якому випадку формули будуть мати звичний (аналогічний книжковому) вигляд. Особливої підготовки для набору формул не потрібно. Обчислення з введеними формулами здійснюється за бажанням користувача: або миттєво, одночасно з набором, або по команді. Звичайні формули обчислюються зліва направо і зверху вниз (подібно до читання тексту). Будь-які величини, формули, параметри можна змінювати. Це дає можливість організації інтерактивних обчислювальних документів.

В інших програмах (*Maple*, *MuPAD*, *Mathematica*) обчислення здійснюють у режимі програмного інтерпретатора, який трансформує у формули введені у вигляді тексту команди. *Maple* своїм інтерфейсом орієнтований на тих користувачів, які вже мають навички

програмування в середовищі традиційних мов із введенням складних формул у текстовому режимі. Для користування *Mathcad* можна взагалі не бути знайомим із програмуванням.

Mathcad – програмний продукт що створювався як засіб програмування без програмування. Але якщо виникає така потреба, *Mathcad* має досить прості для засвоєння інструменти програмування, що дозволяють будувати складні алгоритми.

Окремо слід відзначити можливість використання в розрахунках *Mathcad* величин із розмірностями, причому можна вибрати систему одиниць: *СІ*, *СГС*, *МКС*, англійську або побудувати власну. Результати обчислень, зрозуміло, також отримують відповідну розмірність. Користь від такої можливості велика, оскільки значно спрощується відстеження помилок у розрахунках, особливо в інженерних.

Однак необхідно пам'ятати, що основне застосування *Mathcad* це розв'язки задач інженерного характеру, створення навчальних інтерактивних документів та їх візуалізації. Досвідчені користувачі *Mathcad* демонструють можливість візуалізації складних математичних конструкцій, але об'єктивно це вже виходить за рамки призначення пакета.

У САПР «**КОМПАС-3D**», призначену для тривимірного твердотілого моделювання, використовується оригінальне графічне ядро. Синтез конструкцій виконується за допомогою булевих операцій над об'ємними примітивами, моделі деталей формуються видавлюванням або обертанням контурів, побудовою по заданих перетинах. Також можливо задати залежності між параметрами конструкції для розрахунків її мас-інерційних характеристик. Розробка проектно-конструкторської документації, в тому числі й різних специфікацій, виконується підсистемою «*Компас-Графік*». Є бібліотеки з даними про типові деталі та їх параметричні графічні зображення, а також бібліотеки додатків спеціального призначення для проектування тіл обертання та розрахунку механічних передач, пружин, металоконструкцій, трубопровідної арматури, штампового оснащення, вибору підшипників кочення, розкрою листового матеріалу та інше. Проектування технологічних процесів виконується за допомогою підсистеми «*Компас-Автопроект*», програмування об'ємної обробки на верстатах з числовим програмним керуванням (ЧПК) – за допомогою підсистеми «*ГЕМА-3D*». Низку необхідних функцій управління проектними даними покладено на підсистему «*Компас-Менеджер*».

T-Flex CAD – САПР побудована на базі ядра *Parasolid*. 3D-модель може бути отримана безпосередньо за наявним кресленням або за допомогою булевих операцій, або виштовхуванням,

протягуванням, обертанням профілю, лофтінга і тому подібне. Передбачено розрахунок масінерційних параметрів. У той же час за видами й розрізами тривимірної моделі можна отримати кресленик. Для цього й використовується підсистема *T-Flex CAD 3D*.

Для параметричного проектування й оформлення конструкторсько-технологічної документації служить підсистема *T-Flex CAD 2D*, для управління проектами та документообігом – підсистема *T-Flex DOCs*. У підсистемі технологічного проектування *T-Flex/Технопро* виконуються синтез технологічних процесів, розрахунок технологічних розмірів, вибір ріжучого й допоміжного інструменту, формування технологічної документації, в тому числі операційних і маршрутних технологічних карт, відомостей оснащення й матеріалів, карт контролю. Підготовка програм для верстатів із ЧПК здійснюється в підсистемі *T-Flex ЧПК*. Крім названих основних підсистем, до складу *T-Flex CAD* включено деякі програми для інженерних розрахунків деталей, проектування штампів і прес-форм.

Важливе місце в конструкторсько-технологічних САПР займають програми технологічної підготовки виробництва. Одним із лідерів галузі є система *Mastercam*. У ній є модулі розрахунку керуючих програм різних видів обробки заготовок, програми моделювання та доопрацювання моделей, конвертори низки популярних графічних форматів даних, наприклад, форматів *STEP*, *IGES*, *Parasolid (xmt, txt)*, *SAT* ядра *ACIS (sat)*, систем *AutoCAD (dxf, dwg)*, *Inventor (ipt, iam)*, *SolidWorks (sldprt)* і інші.

Компанія *Consistent Software* пропонує систему *Technologies* для технологічної підготовки дискретного виробництва. Ця система виконує функції складання специфікацій, ведення дерева проекту й бібліотеки креслеників, синтезу технологічних процесів, вибору інструменту, розрахунку режимів різання, нормування витрат матеріалів, ведення технологічної документації. Система *SolidCAM (CADTech)*, побудована (як і *Mechanical Desktop*), на ядрі *ACIS*, служить для отримання керуючих програм для токарної, 2,5- і 3-осьової фрезерної обробки на верстатах із ЧПК.

ТЕХТРАН – це низка сучасних САМ-систем, об'єднаних загальним інтерфейсом і єдиним підходом до вирішення завдань технологічного проектування. Прості універсальні рішення й відкритість даних сприяли тому, що *Техтран* з успіхом використовується підприємствами найрізноманітніших галузей вже понад чверть століття. Система «*Техтран*» включає модулі токарної, фрезерної, електроерозійної обробки. У процесі побудови геометричних об'єктів і задавання методів обробки деталі відбувається формування тексту програми на мові «*Техтран*». Програма включає в себе всю

послідовність вироблених дій і може бути використана при подальшій роботі. Це дозволяє гнучко поєднувати зручність діалогового режиму з перевагами текстового представлення програми.

6.4 ОСНОВИ ЕРГОНОМІКИ

*ергономічні показники; умови праці; система «людина-машина»;
людино-машинний інтерфейс; функціональне фарбування в машинобудуванні*

Питанням ергономіки в сучасному машинобудуванні приділяють велику увагу. Сьогодні вже не достатньо враховувати тільки технічні та функціональні властивості машини. Слід розвивати питання «гуманізації» техніки, тобто створення гармонії між можливостями людини та машини. Тому при проектуванні нової чи модернізації існуючої машини особливо важливо враховувати можливості і особливості людей, які будуть її використовувати.

Ергономіка – комплексна наука про застосування знарядь та умов праці до людини. Об'єктом ергономіки є система «людина-машина-середовище», а завданням – узгодження характеристик машини та середовища з функціональними можливостями людини.

Ергономіка вивчає діяльність людини в умовах сучасного виробництва з метою оптимізації знарядь і процесу праці та забезпечення необхідних зручностей для людини. Тобто створення таких умов, за яких забезпечується висока продуктивність, стійка працездатність та зберігається здоров'я працівника. Адже відомо, що внаслідок помилок з боку працівника відбувається до 50% із усіх порушень технологій та виникнення аварійних ситуацій в системах керування.

Ергономічні показники

Відповідно до сучасних вимог встановлені такі групи ергономічних показників:

- гігієнічні, що встановлюються при визначенні відповідності виробу гігієнічним умовам життєдіяльності й працездатності людини при її взаємодії з виробом (освітленості, запиленості, токсичності, шуму, випромінюванні, вібрації, вологості, температури, перевантажень (прискорень), напруженості магнітного та електричного полів тощо);
- антропометричні, що встановлюються при визначенні відповідності конструкції машини розмірам, формі й вазі тіла людини, що бере участь в обслуговуванні цього виробу (відповідність конструкції виробу розмірам тіла людини, розподілу ваги людини);
- фізіологічні та психофізичні, що встановлюються при визначенні відповідності конструкції виробу фізіологічним властивостям людини й особливостям функціонування її органів

чуття (силовим і швидкісним можливостям людини, сприйняття зором (розмір, форма, яскравість, контраст, колір, просторове положення), слуховим можливостям отримання звукової інформації, дотичними можливостям (форма, розмір та розташування елементів));

- психологічні, що встановлюються при визначенні відповідності виробу психологічним властивостям людини, що знаходить відображення в інженерно-психологічних вимогах, вимогах психології праці (наприклад, можливості людини сприймати та опрацьовувати інформацію, використання закріплених і знову сформованих звичок людини, з врахуванням легкості й швидкості їхнього формування).

Оцінка ергономічних показників визначається шляхом зіставлення заданих з базовими ергономічними показниками. У більшості випадків базою для порівняння є ергономічні вимоги, наведені в спеціальних довідниках. У цьому випадку оцінка ергономічних показників дається у формі «відповідає» або «не відповідає» нова конструкція ергономічним вимогам у системі людина-виріб.

У тих випадках, коли є можливість визначити залежність між одним із основних показників призначення виробу (наприклад, продуктивність) й обраними ергономічними показниками, їх оцінку варто проводити за величиною зміни показника призначення.

Оцінку ергономічних показників можуть дати й експерти, які мають ергономічні знання з конкретної галузі промисловості.

Умови праці

Значною мірою, саме машини створюють фактори виробничого середовища, що впливають на працездатність людини й визначають умови праці на виробництві.

Основні фактори та їх значення для здоров'я й працездатності людей можна згрупувати так:

- фізичне зусилля (переміщення вантажів певної ваги в робочій зоні, зусилля, пов'язані з утримуванням вантажів, натисненням на предмет праці або важіль управління механізмом протягом певного часу). Розрізняють такі види фізичного зусилля: незначне, середнє, сильне й дуже сильне;
- нервові напруження (складність розрахунків, особливі вимоги до якості продукції, складність управління механізмом, апаратом, приладдям, небезпека для життя й здоров'я людей під час виконання робіт, особлива точність виконання). Оцінюють види напруження так: незначне, середнє, підвищене;
- робоче положення (положення тіла людини і його органів

відносно засобів виробництва). Розрізняють робоче положення, як обмежене, незручне, незручно-утруднене й дуже незручне;

- монотонність роботи (багаторазове повторення одноманітних, короткочасних операцій, дій, циклів). Оцінка монотонності роботи: незначна, середня, підвищена;
- температура, вологість, теплове випромінювання в робочій зоні (градуси за Цельсієм, відсоток вологості, калорії на 1см² за хвилину). Стадії впливу зазначених факторів поділяються на: незначні, підвищені або знижені, середні, високі, дуже високі;
- забруднення повітря (вміст домішок в кубометрі або літрі повітря і їх вплив на організм людини). Ступінь забруднення повітря оцінюють як незначний, середній, підвищений, сильний, дуже сильний;
- виробничий шум (частота шуму, Гц; сила шуму, дБ). Розрізняють помірний, підвищений і сильний шум;
- вібрація, обертання, поштовхи (амплітуда на хвилину, градуси і кількість обертів або поштовхів за хвилину). Рівні значень указаних факторів: підвищені, сильні, дуже сильні;
- освітленість у робочій зоні, лк. Освітленість може бути нормальна, недостатня або осліплююча.

Кожний із цих факторів виробничого середовища діє відокремлено, і його вплив ураховується окремо під час атестації і паспортизації робочого місця.

На підприємствах і в організаціях, незалежно від форм власності і господарювання, де технологічний процес, працююче обладнання, сировина та матеріали є потенційними джерелами шкідливих і небезпечних виробничих факторів, проводиться атестація робочих місць. Основна мета атестації полягає в урегулюванні відносин між власником або уповноваженим ним органом і працівником щодо реалізації його прав на належні санітарно-гігієнічні та безпечні умови праці, пільгове пенсійне забезпечення, пільги та компенсації за роботу в несприятливих умовах.

Прийнято таку класифікацію умов праці.

І клас – оптимальні умови, в яких не лише зберігається здоров'я працюючих, а й створюються передумови для підтримання високого рівня працездатності. Оптимальні нормативи виробничих факторів установлені для мікроклімату. Для інших факторів за оптимальні умови приймаються такі умови праці, в яких несприятливі фактори виробничого середовища не перевищують

рівнів, прийнятих за безпечні для населення.

II клас – допустимі умови, які характеризуються такими рівнями факторів виробничого й трудового процесу, які не перевищують установлених гігієнічних нормативів, а можливі зміни функціонального стану організму відновлюються за час регламентованого відпочинку або до початку наступної зміни й не чинять несприятливого впливу на стан здоров'я працюючих та їх потомство в найближчому і віддаленому періодах.

III клас – шкідливі умови, які характеризуються такими рівнями шкідливих виробничих факторів, що перевищують гігієнічні нормативи і здатні чинити негативний вплив на організм працюючого та(або) його потомство. Шкідливі умови за показниками перевищення гігієнічних нормативів та вираження можливих змін в організмі працюючих поділяються на чотири ступені складності.

IV клас – небезпечні (екстремальні) умови, що характеризуються такими рівнями шкідливих факторів виробничого середовища і трудового процесу, вплив яких протягом робочої зміни (або її частин) створює загрозу для життя, високий ризик виникнення важких форм гострих професійних уражень.

Система «людина-машина»

Проектування системи «людина-машина» передбачає аналіз характеристик об'єкта керування, розподіл функцій між людиною і машиною, проектування діяльності оператора і технічних засобів його роботи, оцінку системи в цілому. На основі аналізу процесів інформаційної взаємодії людини і машини погоджуються характеристики людини і предметного середовища в просторовому, часовому, інформаційному та енергетичному спрямуванні.

Просторове погодження передбачає організацію робочого місця працівника, робочу позу, визначення зон досягнення, траєкторії рухів, доступність органів керування тощо.

Часове погодження враховує динаміку працездатності з виконанням роботи, її темпу, інтенсивності, зміною діяльності і відпочинком.

Інформаційне погодження пов'язане з оцінкою потоків інформації та пропускну здатності аналізаторних функцій щодо сприйняття і переробки інформації, врахуванням перешкод.

Енергетичне погодження враховує вплив трудових навантажень на м'язову, серцево-судинну системи на основі встановлення оптимального обсягу рухової діяльності, величини м'язових

зусиль залежно від умов праці.

Мета проведення ергономічного аналізу – опрацювання ергономічних показників машини з метою їх покращення.

Відмітимо такі об'єкти аналізу.

1. *Робочий простір* – це той простір, на який поширюється дія людини під час роботи. Вважають, що робочий простір організований раціонально, коли оператор легко й вільно може дістати та побачити всі елементи, які необхідні йому для роботи.

2. *Органи керування*. Зручність обслуговування машини забезпечується мінімальними витратами часу на виконання операцій керування, антропометричною відповідністю, невеликими витратами фізичної сили та кількості руху при маніпулюванні органами керування, раціональним розташуванням приладів й органів керування, які позбавляють оператора від надлишкового напруження пам'яті та уваги.

3. *Засоби відображення інформації*. Основні ергономічні вимоги до засобів відображення інформації такі: інформація, яку отримує оператор від засобів її відображення, повинна бути точною та своєчасною; обсяг інформації повинен відповідати реальним можливостям людини, щоб охопити та опрацювати; вона повинна бути достатньою для оцінки ситуації, прийняття правильного рішення і контролю за його виконанням.

4. *Фактори виробничого середовища* – це фактори, що впливають на працездатність людини в процесі виробництва і визначають умови праці на виробництві (температура, склад атмосфери, світло, шум, вібрація і таке інше).

5. *Експлуатаційні властивості* характеризують легкість технічного обслуговування машини. Наприклад, деталі та вузли, котрі часто міняють, повинні бути легкодоступними; періодичне мащення поверхонь тертя повинно здійснюватися без розбирання окремих деталей вузла тощо.

Людино-машинний інтерфейс

Людино-машинний інтерфейс (англ. *Human machine interface*, скорочено *НМІ*) – поняття, що охоплює інженерні рішення, котрі забезпечують взаємодію оператора з керованими ним машинами.

Проектування людино-машинного інтерфейсу включає створення робочого місця оператора: крісла, столу, пульта керування, засобів відображення інформації, розміщення приладів і органів керування, освітлення робочого місця, мікроклімат і таке інше.

Робоче місце оператора – це місце в системі «людина-машина», оснащене засобами відображення інформації, органами

керування і допоміжним обладнанням, на якому здійснюється трудова діяльність.

Правильна організація робочого місця передбачає виконання таких завдань:

- вибір раціональної робочої пози оператора;
- раціональне розміщення індикаторів і органів керування в межах поля зору і досяжності з врахуванням їх важливості та частоти користування;
- забезпечення належного огляду робочого місця;
- відповідність конструкцій технічних пристроїв і робочих меблів антропометричним, фізіологічним і психологічним характеристикам людини;
- відповідність інформаційних потоків можливостям людини щодо сприйняття і опрацювання інформації;
- забезпечення сприятливих санітарно-гігієнічних умов праці.

Інформація про стан керованого об'єкта надходить від засобів відображення інформації, якими є різні прилади. Системи відображення інформації виконуються у вигляді табло, мнемосхем, приладних панелей і щитів, моніторів, сенсорних екранів тощо. Вони формують сенсорне поле робочого місця оператора.

За функціями інформація поділяється на:

- командну – надає відомості про необхідність дії для досягнення мети;
- ситуаційну – описує наявну інформацію про проходження процесу.

За способом використання:

- контрольну – встановлює наявність чи відсутність процесу, норму або відхилення його параметрів;
- кількісну – подається у вигляді числових значень, що характеризують процес;
- якісну – вказує на напрямок зміни керованого параметру процесу.

На базі засобів відображення інформації створюють інформаційну модель процесу керування, яка повинна відповідати таким вимогам:

- за змістом – адекватно відображати об'єкти керування та навколишнє середовище;
- за кількістю – забезпечувати оптимальний інформаційний баланс (не допускати як дефіциту так і перевантаження оператора інформацією);
- за формою та композицією – відповідати завданням оператора щодо керування та його психофізіологічним можливостям

щодо сприйняття і опрацювання інформації.

Організація інформаційних потоків не повинна перевищувати «пропускну здатність» оператора. Для цього необхідно:

- подавати інформацію завчасно до початку виконання дії;
- зменшити потік інформації до необхідного мінімуму;
- забезпечити можливість фільтрування інформації для вибору оператором потрібної;
- виділити максимально можливий час для прийняття рішення;
- зберігати на індикаторі інформацію певний час.

Сигнали, що надходять до оператора, за вагомістю інформації поділяють на:

- аварійні;
- важливі відхилення від технологічного режиму, що можуть перейти в аварію;
- відхилення другорядних технологічних параметрів;
- незначні порушення правил технічної експлуатації.

Тобто насамперед подають сигнали, які вимагають екстреного втручання, інші подаються по черзі, по мірі обробки більш важливих. Аварійні сигнали подаються негайно в оптимальну для сприйняття оператором зону. Сигнали про важливі відхилення, які надходять у цей час, подають у периферійну зону сприйняття. Решта сигналів затримується в пам'яті машини до закінчення обробки аварійних та важливих сигналів.

При компонованні засобів відображення інформації враховують важливість, послідовність, частоту і тривалість використання кожного сигналу та дотримуються низки принципів:

- лаконічності (засіб повинен містити тільки ті елементи, що необхідні для забезпечення оператора інформацією про стан об'єкта та вибору оптимально способу впливу);
- узагальнення та уніфікації (не слід виносити на засоби відображення елементи, які позначають несуттєві особливості керованих об'єктів);
- акцентування (незалежно від розмірів елементів контролю та керування, їх символи повинні дуже чітко виділятися);
- автономності (засоби відображення, які відповідають автономно контролюваним і керованим агрегатам і об'єктам, необхідно відокремити від інших);
- просторового співвідношення (розміщення індикаторів має бути погоджено з розміщенням відповідних їм органів керування);
- звичних асоціацій (застосовують символи, які асоціюються з об'єктами і явищами, які вони позначають).

Органи керування машиною використовуються для введення командної інформації, встановлення необхідних режимів роботи, регулювання параметрів, виклику інформації з метою контролю. Залежно від призначення й характеру використання органи керування поділяються на:

- оперативні (основні), що використовуються постійно;
- періодичні, що використовуються періодично (для включення, виключення чи контролю);
- епізодичні, що використовуються епізодично (для налаштування, регулювання).

Розміщення органів керування здійснюється з врахуванням принципу економії рухів. Це означає, що кількість і траєкторії рухів необхідно звести до мінімуму, а самі рухи повинні бути ритмічними.

Оперативні, тобто найбільш важливі органи керування, що найчастіше використовуються, розміщують у межах оптимальної зони досягання.

Періодичні (допоміжні) органи керування можуть знаходитися в межах допустимої і навіть максимальної зон досягання.

Органи керування епізодичного використання можна розміщувати і за межами зон досягання або сховати під лицевою чи боковою панеллю пульта управління.

При взаємному компонуванні органів керування та засобів відображення інформації дотримуються:

- функціональності – інформаційні пристрої і органи керування, які виконують однакові функції, розміщують недалеко один від одного;
- важливості – найбільш важливі інформаційні пристрої й органи керування розміщуються у місцях, зручних для спостереження та обслуговування;
- черговості – інформаційні пристрої й органи керування розміщують у тій послідовності, у якій вони використовуються;
- частоти використання – інформаційні пристрої й органи керування розміщують, враховуючи частоту їх використання.

Комфортне виробниче середовище забезпечує оптимальну динаміку працездатності людини й збереження її здоров'я. Тому правильне функціональне наповнення та компонування елементів людино-машинного інтерфейсу підвищує ефективність праці оператора та надійність роботи машини.

Функціональне фарбування в машинобудуванні

Метою функціонального фарбування є створення для обслуговуючого персоналу таких умов, котрі забезпечують високу

продуктивність і безпечність праці. Наприклад, кольори знаків безпеки, фарбування трубопроводів, балонів, що працюють під тиском, літальних апаратів, гаків вантажопідйомних машин регламентуються нормативними документами.

Загальні вимоги до фарбування машин:

- колір повинен відповідати конструктивним і функціональним особливостям виробу;
- колір не повинен співпадати з кольором приміщення й навколишнього середовища;
- темний колір створює відчуття депресії та бруду;
- деталі і частини виробу, котрі можуть привести до травми, фарбують у яскравий запобіжний колір;
- вузли, що рухаються, фарбують у колір, який активізує;
- органи керування фарбують у яскравий колір;
- внутрішні поверхні корпусних деталей фарбують кольорами світлого тону;
- вироби, що випромінюють тепло, фарбують у срібний або голубий колір.

6.5 СКЛАДАННЯ МАШИН

вихідні дані та аналіз підготовки до складання машин; розроблення технології складання; технологічність конструкції машин при складанні; класифікація з'єднань у машинобудуванні

Складання – це сукупність операцій зі сполучення деталей у певній технічно й економічно доцільній послідовності для отримання механізму або машини, що повністю відповідає встановленим для них вимогам.

Процес складання машин відбувається відповідно до вимог, які регламентуються технологічною документацією. Раціональна технологія складання машини у багатьох випадках має вирішальну роль для забезпечення її надійності та довговічності.

У серійному машинобудуванні трудомісткість складальних операцій займає близько 20...35% від загальної трудомісткості виготовлення машини, а в окремих випадках може сягати 50...60%. При цьому більшу трудомісткість, як правило, мають процеси механічної обробки, які складають близько 35%, а в окремих випадках до 70%. Виробничі площі, що використовуються на машинобудівних заводах, залежно від їх продукції, рівня організації й технології складання становлять від 10% до 65% від загальнопромислових площ.

Необхідно зазначити ще один вид складальних робіт – розбирання й складання машин і механізмів при їх ремонті. Адже

ремонт не може відбуватись без повного або часткового розбирання з подальшим складанням машини, що неодноразово повторюється протягом всього терміну її служби. Тому складання машин супроводжується передусім великою витратою трудових ресурсів, що може бути оптимізована на етапі проектування.

Вихідні дані та аналіз підготовки до складання машин

Розроблення технології складання машин є частиною технологічної підготовки до її виробництва. Головними принципами проектування процесу складання машин є забезпечення високої якості виробу, досягнення найбільшої продуктивності та економічності шляхом широкого застосування механізації та автоматизації складальних робіт.

Основою проектування технологічного процесу складання є:

- визначення найбільш раціональної послідовності й встановлення методів складання;
- поелементне планування складальних операцій і режимів складання;
- вибір та конструювання необхідного інструмента, пристосувань й обладнання;
- призначення технічних умов на складання елементів та загальне складання виробу за операціями;
- вибір методів та засобів технічного контролю якості складання;
- встановлення норм часу на виконання складальних операцій;
- розробка необхідної технічної документації.

Для розробки технологічного процесу складання машини або окремого вузла технологу необхідно мати:

- складальні кресленики, що достатньо характеризують машину чи вузол для розуміння конструкції;
- кресленики деталей;
- специфікації;
- технічні вимоги до приймання;
- планові обсяги випуску продукції.

Треба також переконатись, що деталі та вузли легко піддаються спряженню з суміжними деталями, а вже складені не будуть перешкоджати складанню чи розбиранню інших. Розбирання повинно проводитись так само легко, як і складання.

Переконавшись у принциповій можливості складання вузлів та машини в цілому, визначають:

- основні параметри точності кожного вузла зокрема та групи

вузлів, у яких ці параметри взаємозв'язані;

- методи та засоби досягнення необхідної точності;
- методи та засоби контролю основних параметрів точності.

Для того, щоб проектом правильно визначити та оцінити вимоги точності до машини, треба попередньо в'яснити:

- призначення машини та технічні вимоги до неї;
- вихідні параметри машини або її основні характеристики;
- планований термін служби машини;
- умови експлуатації;
- можливість/необхідність заміни деталей чи вузлів машини в період її експлуатації;
- до якого механізму чи агрегату буде приєднана машина і які додаткові навантаження діятимуть на неї;
- планові обсяги випуску машин;
- технічну оснащеність машинобудівного підприємства.

Оскільки різні вузли машини, як правило, експлуатуються в різних умовах, то потрібно для кожного окремого вузла уточнювати всі ці питання.

Сформульовані задачі підготовки складання машин тісно пов'язані поміж собою і повинні вирішуватись комплексно в такій рекомендованій послідовності:

1. Визначають вимоги точності до конструкції машини.
2. Виявляють основні параметри точності (параметри для забезпечення якісного виконання функцій та їх вплив на надійність роботи машини), що підлягають встановленню.
3. Виявляють найгірші щодо точності можливі положення конструкції (при різному положенні ланок виявляють положення рухомих деталей, при яких параметри точності будуть найгіршими).
4. Визначають закладені в конструкції методи компенсації похибок.
5. Вибирають метод установки і налаштування елементів конструкції. У випадку передбаченої підгонки чи регулювання компенсують деякі неточності виготовлення; у той же час вносять нові похибки від підгонки чи налаштування. Тому налаштування вибирають так, щоб компенсувати максимум похибок виготовлення з одночасним мінімальним внесенням власних похибок налаштувань. Для цього доцільно визначити необхідний інструмент (універсальний чи спеціальний) для регулювання.
6. За виявленим найгіршим взаємним положенням і вибраним методом регулювання конструкції складають її схему. Схема повинна включати тільки ті елементи, що впливають на основні параметри точності. Якщо різні параметри визначаються при

різних положеннях ланок, складають декілька схем. На схемах позначають ті розміри деталей, що необхідні для визначення основних параметрів.

7. Вивчають розмірні ланцюги, що визначають основні параметри точності конструкції та визначають чисельні значення основних параметрів точності і вплив на них кожної з первинних похибок.

8. Зіставляють отримані значення основних параметрів із допустимими.

9. Визначають способи контролю основних параметрів конструкції й необхідні для цього інструменти та прилади. Складають схему контролю з позначенням вимірювального інструмента в його робочому положенні. Треба намагатися, щоб усі основні параметри перевірялись нарізно. На випадок виявлення при контролі недопустимих відхилень вказують ті розміри деталі чи вузла, які необхідно додатково проконтролювати. Контроль передбачається зразу ж після складання вузла чи групи елементів конструкції, що визначає точність, щоб не довелося розбирати цілу машину.

10. Якщо основні параметри на виробництві не можуть бути витримані в заданих межах, а також у випадку неможливості чи складності виконання регулювань і контролю, конструкцію корегують, роблять її більш технологічною, і вносять відповідні зміни в схеми та розрахунки.

Виконання точнісного аналізу дозволяє правильно скласти технологію складання машин.

Розроблення технології складання

Технологію складання машини потрібно розробляти швидше, ніж технологію виготовлення більшості її деталей. Це дозволить при неможливості здійснення складання або контролю окремих з'єднань чи неможливості досягнення їх точності вносити в конструкцію зміни, які покращують технологічність, і врахувати це при виготовленні відповідних деталей.

Після вивчення складальних креслеників і точнісного аналізу конструкції встановлюють порядок комплектування складальних одиниць та їх схеми.

Розбивка виробу на складальні одиниці – основна робота при проектуванні технологічного процесу складання виробу. При цьому керуються такими принципами:

- складальна одиниця не повинна бути занадто громіздкою за габаритами, масою чи кількістю деталей і спряжень; у той

же час надлишково подрібнювати машини на складальні одиниці не раціонально, так як це створює додаткові труднощі в організації складання машин;

- якщо в процесі складання необхідне проведення випробувань, обкатування, спеціальна слюсарна пригонка вузла, то він повинен бути виділений в особливу складальну одиницю;
- складальна одиниця при наступному її монтажі не повинна підлягати розбиранню; якщо цього уникнути не можливо, то ці роботи з розбирання слід передбачити в технології;
- більшість деталей машин, виключаючи головні базові (станина, рама тощо), деталі кріплення, різьбові з'єднання, повинні бути включені в ті чи інші складальні одиниці, щоб скоротити кількість окремих деталей, що подаються на загальне складання;
- трудомісткість складання повинна бути приблизно рівномірною для більшості складальних одиниць.

Розбивання на складальні одиниці складних машин зі значною номенклатурою деталей вимагає особливої уваги, вмінь та навичок.

При проектуванні технологічних процесів складання треба: забезпечувати високий рівень механізації робіт; скорочувати витрати та полегшувати ручну працю; упроваджувати досягнення передової технології складання машин із споріднених підприємств та суміжних галузей; раціонально використовувати виробничі можливості машинобудівного підприємства.

Технологічність конструкції машин при складанні

Конструкцію будь-якої машини визначає передусім її призначення та технічні характеристики, яким вона повинна відповідати в експлуатаційних умовах. Поряд із цим до конструкцій машин висувають і виробничі вимоги. Конструкція повинна бути такою, щоб експлуатаційні якості машини, які залежать від процесу складання, були досяжні та економічні при заданих умовах виробництва. Таку конструкцію прийнято називати технологічною при складанні.

Основними технологічними вимогами до конструкції машин при її складанні є:

- обмеженість довжини кінематичних ланок;
- забезпечення можливості зменшення трудомісткості, вартості й тривалості циклу вузлового та загального складання;
- можливість складання машин із відокремлених складальних

- одиниць без повторного розбирання;
- мінімізація обсягів припасовувальних робіт.

Дуже важливо, щоб більшість вузлів і конструкцій машини були незалежні один від одного і, таким чином, являли собою не тільки конструктивні, а й складальні групи. У цьому випадку складання груп може бути легко виділеним з процесу загального складання машини, а це призводить до спрощення технології складання та її трудомісткості.

Перевірка конструкцій всіх нових виробів машинобудування на технологічність складання і розбирання повинна виконуватись обов'язково.

Класифікація з'єднань в машинобудуванні

У виробках машинобудування застосовується велика кількість різних з'єднань деталей: приблизно 35...40% з'єднань типу циліндричний вал-втулка; 15...20% площинних; 15...25% різьбових; 6...7% конусних; 2...5% сферичних і таке інше. Всі вони відрізняються відносною рухомістю, можливістю розбирання, технологією складання, видом контакту спряжених поверхонь деталей, міцністю тощо.

Конструктивно й за умовами експлуатації з'єднання можуть бути поділені на рухомі та нерухомі. У робочому стані деталі рухомих з'єднань здатні до відносного переміщення деякими траєкторіями, що визначаються кінематичною схемою механізму, ланками якого вони є. Деталі нерухомих з'єднань у робочому стані переміщуватись не можуть.

Рухомі й нерухомі з'єднання, залежно від можливості демонтажу поділяють на роз'ємні (ті, що розбираються) та нероз'ємні (ті, що не розбираються). Під роз'ємними з'єднаннями розуміють ті, що можуть бути повністю розібраними без пошкодження з'єднуючих деталей. Решта з'єднань – нероз'ємні, хоча при ремонті деякі з них можуть піддаватись розбиранню. Але при цьому для подальшого складання необхідна заміна однієї з деталей цього з'єднання або їх спеціальне припасування.

Отже, з'єднання можуть бути:

- нерухомі роз'ємні (наприклад різьбові, пазові, конусні);
- нерухомі нероз'ємні (наприклад запресовування, розвальцювання, заклепування);
- рухомі роз'ємні (наприклад вал-підшипник ковзання, плунжер-втулки, зубчасті колісні пари, каретки-станіни);
- рухомі нероз'ємні (наприклад деякі підшипники кочення, запірні клапани).

Така класифікація проста за своєю схемою, але має той недолік, що в кожную групу з'єднань входять з'єднання різні за своєю технологічною характеристикою та методом складання.

Також пропонуються класифікації за видом контакту спряжених поверхонь.

Питання класифікації з'єднань не має єдиного підходу, тому на рисунку 6.2 пропонуються класифікації за конструктивними, технологічними та контактними ознаками, що сукупно найбільш повно описують типи з'єднань.

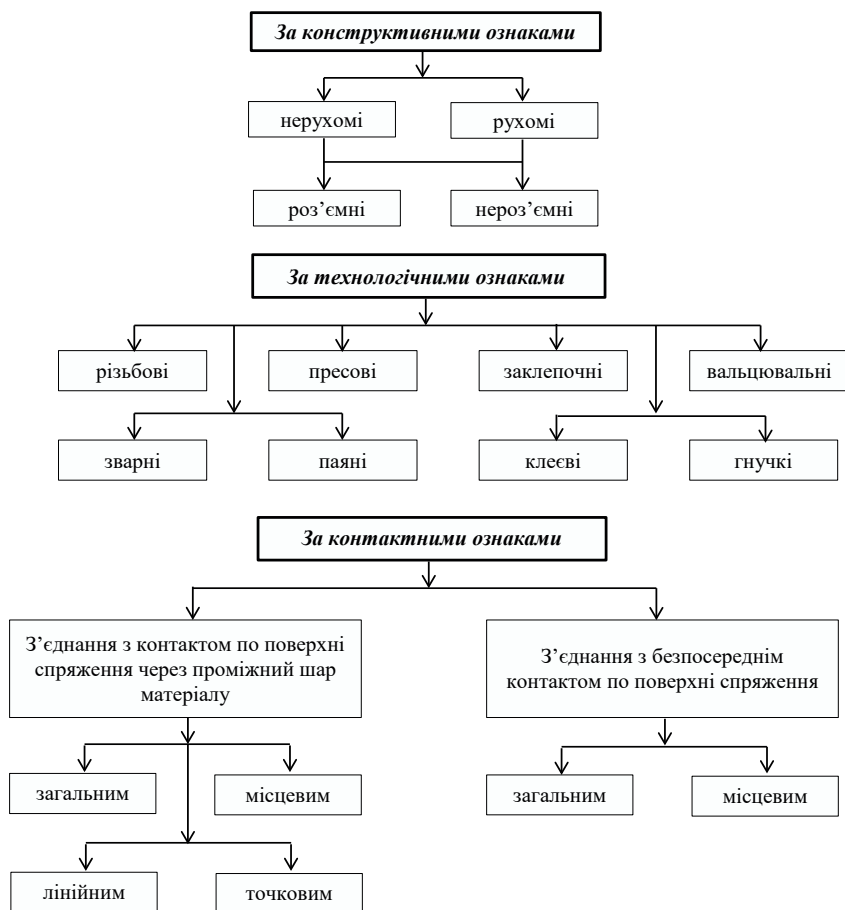


Рисунок 6.2 – Структура типів з'єднань деталей машин

6.6 ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ КОНСТРУКЦІЇ ВИРОБУ

основні показники технологічності; технологічний контроль конструкторської документації; технологічність конструкції деталі, що обробляється різанням; технологічність конструкції складальної одиниці; експлуатаційна та ремонтна технологічність конструкції виробу

Технологічність конструкції виробу характеризується сукупністю властивостей, які визначають пристосованість конструкції для досягнення оптимальних витрат ресурсів на виробництво, експлуатацію та ремонт виробу при заданих показниках якості, обсягу випуску й умовах виконання робіт.

Забезпечення технологічності конструкції виробу пов'язано з виявленням джерел резервів зниження ресурсоемності конструкції виробу при вже впорядкованій і регламентованій множині його функцій. Для цього передбачають безпосередній аналіз конструктивних рішень виробу в цілому, направлений на мінімізацію витрат ресурсів на розробку, виробництво й утилізацію виробу при забезпеченні й підтримці його якості в заданих межах.

Це передбачає:

- зменшення кількості складових частин, заміну кількох складових частин однією;
- заміну спеціальних деталей стандартними, а оригінальних – уніфікованими;
- заміну допусків та інших вимог до якості поверхні на менш жорсткі;
- заміну складних поверхонь деталей простішими;
- використання технологічно більш раціональних заготовок;
- застосування найбільш економічних технологічних процесів виготовлення, технічного обслуговування та ремонту тощо.

Основні показники технологічності

Основні показники технологічності конструкції виробу поділяють на три групи:

1. Трудомісткість конструкції виробу, куди входять такі одиничні показники:

- трудомісткість при виготовленні;
- трудомісткість при технологічному обслуговуванні;
- трудомісткість при технічному обслуговуванні та ремонті;
- трудомісткість при транспортуванні та зберіганні.

2. Матеріалоемність конструкції виробу:

- матеріалоемність при виготовленні;
- матеріалоемність при експлуатації.

3. Енергоємність конструкції виробу:

- при виготовленні;
- при технічному та технологічному обслуговуванні;
- при ремонті.

Поряд із цими трьома групами одиничних показників до числа основних показників відносять технологічну собівартість конструкції виробу C_T , що характеризує витрати різних видів ресурсів при виготовленні виробів у вартісному виразі.

$$C_T = C_M + C_3 + C_{II}, \quad (6.3)$$

де C_M – вартість матеріалів на виготовлення;

C_3 – заробітна плата робітників з нарахуваннями;

C_{II} – вартість витрат на енергію, амортизацію обладнання, інструмент і пристосування, охолоджуючі та мастильні рідини, інші матеріали, що передбачені процесом проведення робіт.

Головними факторами, що впливають на забезпечення основних показників технологічності конструкції виробу є:

- вид виробу;
- конструктивна складність;
- новизна конструкції виробу;
- характеристика вихідних матеріалів;
- стадія розробки.

Показники технологічності конструкції виробу визначають на всіх стадіях та етапах його розробки, починаючи від технічного завдання і закінчуючи робочою конструкторською документацією. Технологічну раціональність виробу забезпечують прогресивні методи й прийоми в конструюванні:

- блочно-модульна побудова систем і пристроїв;
- параметрична оптимізація об'єктів виробництва;
- агрегатування складових частин;
- метод оптимізації виробу;
- функціонально-вартісний аналіз;
- розмірний аналіз;
- економіко-математичне моделювання.

Важливою умовою технологічності виробу є правильний розділ конструкції виробу на складові частини. Функціональна завершеність складової частини виробу полягає у характерній єдності основної функції та функції, що реалізується, а також здатності виконувати цю функцію окремо від виробу.

Технологічна завершеність складової частини виробу полягає у відносній самостійності технологічних операцій: розробки, виготовлення, монтажу, випробувань, ремонту тощо.

Технологічний контроль конструкторської документації

Технологічним контролем називається інженерна перевірка конструкторської документації на відповідність вимогам технологічності.

Конструкторська документація не регламентує методи та способи виготовлення виробу, а також послідовність технологічних процесів. Це завдання технологічної документації. Тому узгодженість конструкторської та технологічної документації необхідна і обов'язкова. Урахування в конструкторській документації технологічних вимог повинно проводитись розробником задовго до початку проектування технологічних процесів. Перевірка точного виконання цих вимог конструктором і є завданням технологічного контролю.

Розрізняють декілька форм технологічного контролю:

- за місцем, часом та типом організації робіт: внутрішній, зовнішній, вхідний;
- за обсягом: суцільний та обов'язковий;
- за методами: кількісний та якісний.

Технологічність конструкції деталі, що обробляється різанням

На технологічність конструкції деталі, що підлягає обробці різанням, впливають як технічні фактори (оброблюваність матеріалу, вибір баз і розмірних зв'язків, форма і розміри деталей, вимоги точності й шорсткості поверхонь), так й організаційні фактори (серійність виробництва, періоди повтору серій, кількість модифікацій).

Оброблюваність різанням – здатність матеріалу деталі ефективно піддаватися обробці ріжучим інструментом.

У задачі забезпечення технологічності конструкції деталі найбільший інтерес викликає визначення відносного рівня швидкостей різанням, при якому можна ефективно виконувати обробку даного матеріалу, а також мати можливість отримати необхідну шорсткість оброблених поверхонь.

Для деталей, що мають складні фасонні поверхні, необхідно також враховувати і сили різання. А для деталей, що планують обробляти на верстатах-автоматах важливими критеріями є характер і форма стружки.

Рівень оптимальних швидкостей різанням оцінюється спеціальним коефіцієнтом, який виражає відносну швидкість різання, що відповідає 60-хвилинній стійкості різців, визначеною порівнянням з еталонним матеріалом.

Загальні технологічні вимоги до деталей, що обробляються різанням:

- максимальне використання уніфікованих форм деталей;
- забезпечення нормального входу та виходу ріжучого інструмента;
- врахування відсутності прямої залежності між параметрами шорсткості та полями допусків поверхонь.

Технологічність конструкції складальної одиниці

Складальна одиниця повинна бути технологічною при складанні, монтажі, контролі та випробуваннях. Для забезпечення технологічності складальної одиниці повинні бути виконані такі умови:

- повна взаємозамінність деталей і вузлів складальної одиниці;
- забезпечення підходу використання універсальних монтажних-складальних інструментів і пристосувань;
- забезпечення можливості застосовувати прогресивні засоби технологічного оснащення;
- можливість застосування диференційних схем складання за рахунок раціонального розподілу виробу на агрегати, секції, вузли та деталі.

Загальна кількість деталей у складальній одиниці повинна бути мінімальною. Важливим фактором підвищення технологічності складальної одиниці і загалом виробу є унаслідування елементів інших конструкцій, що пройшли випробування часом на виробництві.

Експлуатаційна та ремонтна технологічність конструкції виробу

Експлуатація являє собою стадію життєвого циклу виробу, на якій реалізується, підтримується та відновлюється його якість. Експлуатаційна технологічність конструкції виробу проявляється при підготовці виробу до використання, технічному обслуговуванні та технічному ремонті. Ремонтна технологічність конструкції виробу проявляється при всіх видах ремонту, за винятком поточного.

Ремонтпридатність – це сполучна ланка між експлуатаційною і ремонтною технологічністю конструкції виробу та його надійністю.

Експлуатаційна та ремонтна технологічність конструкції виробу характеризує тільки пристосованість конструкції виробу до виконання на ньому визначених операцій. А ремонтпридатність – властивість виробу, що полягає в пристосованості до

попередження, виявлення й усунення несправностей, а також підтримання і відновлення працездатного стану шляхом проведення технічних обслуговувань і ремонтів.

Використана література

1. ДСТУ 3321-2003 Система конструкторської документації. Терміни та визначення основних понять.
2. ДСТУ ГОСТ 2.601:2013 Единая система конструкторской документации. Эксплуатационные документы.
3. Ли Кунву. Основы САПР (CAD/CAM/CAE) – СПб. : Питер, 2004. – 560 с.
4. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования: учеб. для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 430 с.
5. Орлов П.И. Основы конструирования: Справочно-методическое пособие. В 2-х кн.. /Под ред. П.Н. Учайева. – М.: Машиностроение 1988. Кн.1 – 560 с., Кн. 2 – 544 с.
6. Рудь Ю.С. Основы конструирования машин: Підручник. 2-е вид., переробл. – Кривий Ріг: Видавець ФО-П Чернявський Д.О., 2015. – 492 с.
7. Технологичность конструкции изделия: Справочник / Ю.Д. Амиров и др. Под общ. ред. Ю.Д. Амирова – М.: Машиностроение, 1990. – 768 с.

7 ПРИВОДИ, МЕХАНІЗМИ ПЕРЕДАВАННЯ ТА ПЕРЕТВОРЕННЯ РУХУ

7.1 ПРИВОДИ МАШИН

загальні відомості про привод; розробка приводу машин

Привод є однією з основних складових частин будь-якої машини. Спеціаліст, який розробляє привод машини повинен чітко уявляти можливості кожного з елементів приводу, «філософію» структурної побудови системи, особливості її функціонування та експлуатації, знати основну елементну базу та володіти методами розрахунку.

Правильний вибір типу і характеристик приводу, раціональне компоновання в технічній системі є запорукою отримання новою машиною високих експлуатаційних властивостей.

Загальні відомості про приводи

Привод – це система, що призначена для переміщення за заданим законом робочого органу машини, механізму шляхом керованої передачі і/або перетворення енергії джерела в механічну енергію руху робочого органу.

За енергією, яка використовується, приводи можна поділити на механічний, електричний, гідравлічний, пневматичний та інші.

За способом розподілу потоків механічного руху привод поділяється на груповий та індивідуальний. Груповий привод через передавальні механізми забезпечує механічний рух декількох робочих органів машини чи машин. Індивідуальний привод обслуговує один робочий орган машини.

За кількістю двигунів приводи можна поділити на однодвигунний та багатодвигунний. Однодвигунний привод є найпоширенішим. Це використання в приводі машини з одним робочим органом одного двигуна. Багатодвигунний привод широко застосовується у тих машинах, що потребують значної потужності або мають декілька робочих органів. У багатьох випадках кожен із робочих органів, залежно від виконуваної роботи, може приводитись у дію різними за видом підведеної енергії двигунами.

Додатково можна виділити такий вид приводу, як взаємопов'язаний, що складається з двох або більше двигунів, котрі забезпечують виконання одного механічного руху виконавчим механізмом окремими робочими органами машини (наприклад, привод конвеєрної стрічки, ескалатор тощо). Для синхронізації руху двигунів взаємозв'язаних приводів слід використовувати спеціальні схеми зв'язку за потоками первинної енергії. Якщо це

електричні приводи, то подібні схеми зв'язку будують за системою електричного валу.

За способом передачі руху від двигуна до виконавчого механізму розрізняють приводи прямої дії (безредукторні) і приводи з передавальними механізмами, які призначені для узгодження параметрів руху валу двигуна з параметрами руху ведучої ланки виконуючого механізму. Передавальні механізми встановлюються між двигуном та робочим органом машини. Вони виконують такі основні функції:

- зміна частоти обертів та крутного моменту, що передається від двигуна;
- зміна швидкості та зусилля на робочому органі;
- передача руху на відстань;
- зміна траєкторії та характеру руху;
- зміна площини руху;
- зміна напрямку руху (реверс);
- сумування або розподіл рухів і моментів від декількох двигунів;
- розподіл руху й крутного моменту від двигуна до декількох робочих органів;
- регулювання швидкості;
- запобігання поломок машини від перевантажень.

За ступенем керування можна виділити такі приводи:

- нерегульовані, які призначені для приведення в рух робочих органів машини, що працюють на одній робочій швидкості;
- регульовані – для реалізації рухів на різних швидкостях;
- програмно-керовані, котрі відпрацьовують задані програми зміни швидкості;
- слідкуючі – для автоматичного відпрацювання переміщень робочих органів машини з визначеною точністю;
- адаптивні, що автоматично змінюють свою структуру і параметри системи керування з метою підтримання оптимального режиму при непередбачуваній зміні умов роботи машини.

За рівнем автоматизації керування приводи поділяють на неавтоматизовані, автоматизовані (з автоматично регульованими параметрами) та автоматичні (з автоматичним вибором керуючої дії).

Структурна схема приводу, як правило, включає в себе джерело енергії (двигун), трансмісію (систему передавальних механізмів) та систему керування.

Розробка приводу машин

Саме призначення машини обумовлює основні вимоги, що ви-
суються до приводу. Тому перед початком проектування при-
воду необхідно мати, як мінімум, такі вихідні дані:

- призначення: для яких машин та механізмів буде використа-
но привод;
- вид наявної первинної енергії: електричний, гідравлічний,
пневматичний тощо;
- силові та швидкісні характеристики, що передаються ро-
бочому органу: номінальний момент (при довгочасному та
короткочасному режимі), лінійна чи кутова швидкість пере-
міщення, навантаження тощо;
- діапазон та точність регулювання силових та швидкісних
характеристик;
- габаритні та масові обмеження;
- технологічні обмеження за умовами роботи приводу (шум,
вібрація, температурні режими, мобільність, стійкість до
агресивного середовища і таке інше);
- кліматичне виконання та категорія вибухобезпечного вико-
нання.

Розробка приводу машин здійснюється в три етапи.

1. Вибір типу та визначення потужності двигуна.
2. Вибір та розробка кінематичної схеми.
3. Розробка компоновальної схеми.

Розглянемо кожен із етапів окремо.

Вибір типу та визначення потужності двигуна.

Двигуном називають пристрої, що перетворюють один із видів
енергії в механічну роботу. За видом первинної енергії двигуни
поділяють на двигуни внутрішнього згорання, електричні, гід-
равлічні, пневматичні, реактивні, гравітаційні, магнітні, вітрові,
із зовнішнім підведенням тепла (наприклад, парові) та інші.

Велике поширення в техніці знайшли електричні двигуни,
двигуни внутрішнього згорання, гідравлічні та пневматичні.
Наявність електроенергії, як правило, зумовлює вибір елек-
тродвигуна, за її відсутності – переважно використовують дви-
гуни внутрішнього згорання. Механічна робота, що виконується
цими двигунами може використовуватися не тільки для приводу
робочих органів, а й для перетворення її в гідравлічну або pne-
вматичну енергію гідроприводу чи пневмоприводу відповідно.

Електродвигуни найбільш широко використовують у при-
водах енергетичних, технологічних і транспортних машин.
Вони стандартизовані й випускаються промисловістю різних

типорозмірів у широкому діапазоні потужності.

Двигуни внутрішнього згорання найбільше застосовують у транспортних засобах, а також у приводах енергетичних машин.

Гідравлічні та пневматичні двигуни застосовують переважно у багатодвигунних приводах машин.

При виборі типу двигуна враховують, що по мірі віддалення від двигуна в силовому ланцюзі понижуючих передач зростає навантаження на відповідні деталі, оскільки його величина визначається крутним моментом T , який збільшується зі зменшенням кутової швидкості обертання ω . Адже потужність N_d , що передається двигуном до робочого органу (без врахування коефіцієнту корисної дії елементів передач), визначається добутком $T\omega$.

Отже, в зоні менших частот обертання (швидкостей переміщення) робочих органів доцільно вибирати двигуни з меншими частотами обертання або застосовувати передачі з більш високою несучою здатністю, які забезпечують менші габаритні розміри і вагу. Це пояснюється тим, що застосування в приводі машини більш швидкохідних двигунів (які відповідно мають менші вагові характеристики та габарити) вимагає більшого передатного відношення трансмісії. А це в деяких випадках змушує переходити до більш матеріаломістких передач, наприклад, від одноступінчастих до дво- або триступінчастих редукторів. Тому застосування швидкохідних двигунів з меншими масою та вартістю часто не доцільне, оскільки зростають вартість та маса трансмісійної частини приводу. При цьому також необхідно враховувати допустимі частоти обертання й навантаження для того чи іншого виду передач.

Потужність двигуна завжди пов'язують з режимами його роботи – тривалим, короткочасовим та повторно-короткочасовим. Залежно від навантаження на робочий орган, потужність двигуна N_d визначається за однією з формул:

$$N_d = N_p / \eta; \quad N_d = T_p \omega_p / \eta; \quad N_d = F_p v_p / \eta, \quad (7.1)$$

де η – коефіцієнт корисної дії системи передачі енергії приводу;

N_p – потужність робочого органу;

T_p – крутний момент на робочому органі;

ω_p – кутова швидкість робочого органу;

F_p – зусилля на робочий орган;

v_p – лінійна швидкість робочого органу.

У випадку використання гідравлічної (пневматичної) енергії

застосовують таку формулу для визначення потужності:

$$N_d = PQ/\eta, \quad (7.2)$$

де P – тиск у гідравлічній (пневматичній) системі;

Q – подача (витрата) робочої рідини системи.

За визначеною потужністю з каталогів виробників вибираються двигун. При цьому, якщо двигун допускає перевантаження й працює в короткочасовому режимі, можна вибирати його за потужністю дещо меншою від розрахункової. Якщо ж двигун працює в довгочасному режимі або не допускає перевантажень, то слід вибирати значення потужності рівне або найближче більше від розрахункової.

Вибір та розробка кінематичної схеми. Вибір кінематичної схеми залежить як від двигуна, так і від вимог до робочого органу машини. Адже основна задача приводу – узгодити характеристики двигуна з характером та траєкторією руху, швидкістю, крутним моментом робочого органу машини.

Так, характер руху робочого органу може бути монотонний, циклічний, різноманітний, а траєкторія руху – обертовою, зворотно-поступальною, коливальною й складною. Характер руху привідного валу двигуна, як правило, обертовий або зворотно-поступальний.

У машинах із монотонним рухом робочого органу швидкість постійна і тривалий час направлена в одну сторону. Тому двигун, як правило, безпосередньо або через передачу зв'язаний з робочим органом. Прикладом таких машин є вентилятори, точильні верстати тощо.

У машинах із різноманітним рухом між робочим органом та двигуном встановлюються керовані передачі (вручну чи автоматично). Це, наприклад, коробки змінних передач, варіатори та інші. У кінематичні схеми таких машин, зазвичай, також включають механізми, що дозволяють задавати та регулювати роботу машини, перетворювати траєкторію руху та змінювати його характер: кулачкові та кулісні механізми, механізми мальтійського хреста, важільні механізми тощо. Кожен з них служить для перетворення певних видів руху в задані інші. Призначення таких механізмів для перетворення видів руху наведені в таблиці 7.1.

Один із основних параметрів передачі – передатне відношення, яке визначає зміну кутової швидкості та моменту, що передаються механізмами з обертовим рухом від двигуна до робочого органу.

Таблиця 7.1 – Механізми передач для перетворення руху

Характер руху робочого органу або веденої ланки		Характер руху двигуна	
		поступальний	обертвий
Поступальний або коливальний	Зворотно-поступальний	Важільний	Важільний, кулачковий, гвинтовий, клиновий, зубчастий (рейковий), барабанно-поліспасний механізм
	Зворотно-коливальний	Кулачковий, зубчастий (рейковий)	Важільний, кулачковий
	Зворотно-поступальний із зупинкою в кінці шляху	Важільний, кулачковий	Кулачковий
	Зворотно-коливальний із зупинкою в кінці шляху	Важільний, кулачковий	Кулачковий, кулісний
Обертвий	Монотонний неперервний з однією швидкістю	Важільний, гвинтовий (за обмеженого руху), зубчастий (рейковий)	Зубчастий, черв'ячний, ланцюговий, пасовий, фрикційний, важільний
	Змінний за швидкістю залежно від режиму	Важільний, кулісний	Зубчастий, ланцюговий, пасовий, фрикційний (з плавним або ступінчастим регулюванням швидкості)
	Перервний або змінний за час одного оберту	Важільний, обгінний, гвинтовий і мальтійський механізми	Зубчастий з не круглими колесами, важільний, обгінний механізм, мальтійський механізм

Передатні відношення складових частин приводного механізму приймають таким чином, щоб їх добуток був рівний заданому загальному передатному відношенню механізму:

$$u_{\text{пм}} = u_1 \cdot u_2 \cdot \dots \cdot u_i = \omega_{\text{д}} / \omega_{\text{р}} \quad (7.3)$$

де $u_1, u_2, \dots, u_i$ — передатні відношення складової одиниці приводного механізму;

$\omega_{\text{р}}, \omega_{\text{д}}$ — кутові швидкості робочого органу та двигуна відповідно.

Також узгоджуємо значення моментів M_i вихідних ланок складових частин із обертовими моментами M_{i+1} вхідних ланок складових частин приводного механізму, дотримуючись співвідношення $M_i \geq M_{i+1}$. Тобто вихідна ланка передавального механізму повинна розвивати обертовий момент, котрий дорівнює або перевищує момент корисного опору на привідній ланці виконавчого механізму.

Необхідне передатне відношення приводного механізму із заданою точністю досягають шляхом застосування в передавальному механізмі нестандартизованих механічних передач, наприклад, пасових, ланцюгових, фрикційних, зубчастих та інших, в котрих рекомендовано використовувати стандартизовані деталі.

Щоб отримати дуже великі передатні відношення, вигідніше застосовувати декілька ланок. При цьому габарити та маса передачі виходять значно меншими, ніж при одній ланці. Остаточне вирішення питання про розподіл загального передатного відношення між передачами різних типів вимагає порівняння варіантів на основі техніко-економічних розрахунків. Послідовність розміщення передачі при звичайних умовах визначається досить просто. Так, наприклад, привод, що складається з пасової та зубчастої передач, у варіанті розміщення «Двигун → Пасова → Зубчаста» кращий ніж у варіанті «Двигун → Зубчаста → Пасова», так як розміщення зубчастої передачі, яка відрізняється більш високою несучою здатністю, найвигідніше на більш навантажений ділянці силової ланки. З тих же міркувань у приводі з черв'ячною і зубчастою передачами доцільно розміщувати їх у такій послідовності: «Двигун → Черв'ячна → Зубчаста».

Розробка компоувальної схеми. Для розробки компоувальної схеми приводу слід визначити габаритні розміри та масу його елементів. Компоувальна схема відрізняється від складального кресленика тим, що складові частини виробу в ній викреслюються хоча і в масштабі, але із значним спрощенням. Вона наглядно визначає зовнішній вигляд приводу, взаємне розміщення його вузлів і габаритні розміри. Схема також дозволяє поділити виріб на окремі блоки, встановити норми за розмірами елементів і їх взаємного розміщення, зазори між вузлами приводу й розміщення приладів керування з врахуванням зручності обслуговування машини.

Складання варіантів компоувальної схеми починається з розгляду відібраних кінематичних схем і поділу їх на окремі блоки. Для порівняння варіантів викреслюються компоувальні схеми та їх блоки в якомога більшому масштабі та в декількох проєкціях. Допускається значне спрощення графічного зображення, тому, що основне – це форма й розміри. Головну увагу приділяють точності зображення приєднувальних елементів. Розробка схеми ведеться від двигуна до робочого органу з обов'язковим позначенням габаритних та приєднувальних розмірів.

Після складання компоувальних схем проводиться їх аналіз і зіставлення з метою вибору найбільш раціонального варіанту.

Наступний етап – це ескізна розробка, для якої можна

прийняти і дві схеми, а результуючий вибір здійснити після порівняння ескізної розробки вузлів. При ескізній розробці встановлюють перелік стандартних та уніфікованих вузлів виробу. Розглядають можливість заміни решти вузлів, що підлягають додатковому проектуванню, на стандартизовані чи уніфіковані. Розраховують всі найбільш значущі деталі та вузли на міцність, оцінюють їх надійність. Також при компонованні враховують вимоги безпеки праці та технічної естетики.

Після отримання цих даних остаточно вибирають найбільш раціональний варіант схеми, що підлягатиме подальшому конструктивному опрацюванню.

7.2 ПОРІВНЯННЯ ПРИВОДІВ

*порівняння електроприводу та гідроприводу;
порівняння пневмоприводу та гідроприводу*

У технічних системах великого поширення знайшли електричні, гідравлічні та пневматичні приводи.

Що стосується приводу з використанням двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ), то вони порівняно із іншими, мають суттєву перевагу – автономність. Завдяки своїй автономності, що значно перевищує кращі акумуляторні батареї, двигун внутрішнього згорання є дуже популярним у певних нішах технічних систем. Це транспортні машини, силові енергетичні машини в умовах відсутності електропостачання.

Але поряд із їх ключовою перевагою вони мають суттєві недоліки, такі як:

- низький коефіцієнт корисної дії та ресурс;
- жорсткість характеристики (вироблення високої потужності у вузькому діапазоні обертів);
- шум, токсичні викиди тощо.

Застосування того чи іншого виду приводу визначається шляхом аналізу переваг та недоліків, що притаманні кожному з них.

Порівняння електроприводу та гідроприводу

Розглянемо характеристики двигунів як основну рушійну силу приводу.

Щодо енергоємних машин, потужність приводу яких становить десятки чи сотні кіловат, часто постає питання про потужність гідравлічного двигуна для заміни електричного. Проблема ця досить складна враховуючи той факт, що розрахунок номінальної потужності електродвигунів проводиться на іншій основі, ніж двигунів гідравлічних. Тому при виборі типу двигуна необхідно звертати

увагу на цю відмінність.

Електродвигуни здатні протягом короткого проміжку часу розвивати потужність у 2,5 рази більшу від номінальної. Є випадки, коли електродвигуни можуть постійно працювати з потужністю, що в 1,2...1,5 рази перевищує номінальну. Електродвигуни також мають можливість живитися від значних запасів силових мереж.

Потужність гідравлічних двигунів лімітується енергією, яку здатні виробити силові станції. Іншими словами, з точки зору джерела енергії гідравлічні двигуни мають меншу гнучкість порівняно з електродвигунами.

Початкове значення крутного моменту, що можуть розвивати електродвигуни, сягає 500% від номінального. В той час у гідравлічних двигунах ця величина становить всього 80%. Це означає, що при розрахунку характеристик силового вузла треба збільшити величину тиску, який необхідний для запуску гідравлічного двигуна, на 25%.

Розрахунок номінальної потужності гідравлічного двигуна є не настільки консервативним, оскільки він здійснюється на базі тієї максимальної потужності, яку вони здатні розвинути в ідеальних лабораторних умовах. Крім цього, потужність гідравлічних двигунів знижується із підвищенням температури рідини та зниженням її в'язкості, отже криві потужності гідравлічних двигунів повинні розраховуватися при стандартних значеннях в'язкості масла.

Отже, якщо ми візьмемо для прикладу електричний та гідравлічний двигуни номінальної потужності в 10 kW , то електродвигун здатний розвинути потужність у 1,2...1,5 рази більшу від номінальної, тобто 12...15 kW , тоді як гідравлічний двигун спроможний безперервно працювати з потужністю у 80% від номінальної, тобто 8 kW .

Це означає, що при заміні електродвигуна на гідравлічний номінальна потужність останнього має в 1,5...2 рази перевищувати номінальну потужність електродвигуна. Дане твердження враховують при розрахунку номінальної потужності двох різних систем, проте гідравлічні двигуни мають свої переваги при застосуванні.

Наведемо приклад оцінювання двох видів приводів обертового руху: від електродвигуна постійного чи змінного струму та гідродвигуна.

У таблиці 7.2 схематично наведено послідовність елементів, з яких, як правило, складаються системи гідравлічного та електричного приводу для обертового руху з зазначенням коефіцієнтів корисної дії ($ККД$) елементів та системи в цілому.

Таблиця 7.2 – Ефективність елементів та систем передачі і перетворення енергії в приводах

Елементи передачі гідравлічної системи												
джерело змінного струму	▶	двигун змінного струму	▶	гідро-насоси	▶	гідро-канали	▶	гідро-двигуни	▶	коробка передач	▶	робочий орган
Коефіцієнт корисної дії елементів та системи передачі енергії гідравлічного приводу												
1,00	×	0,97	×	0,88	×	0,95	×	0,885	×	0,98	=	0,70
Елементи передачі електричної системи з двигуном постійного струму												
джерело змінного струму	▶	тиристор	▶	кабель			▶	двигун постійного струму	▶	коробка передач	▶	робочий орган
Коефіцієнт корисної дії елементів та системи передачі енергії електричного приводу постійного струму												
1,00	×	0,99	×	0,99			×	0,95	×	0,98	=	0,91
Елементи передачі електричної системи з двигуном змінного струму												
джерело змінного струму	▶	двигун змінного струму							▶	коробка передач	▶	робочий орган
Коефіцієнт корисної дії елементів та системи передачі енергії електричного приводу змінного струму												
1,00	×	0,95							×	0,98	=	0,93

При візуальному порівнянні цих систем можна виділити, що саме гідравлічні елементи суттєво знижують загальну ефективність системи. При цьому основні втрати відбуваються при перетворенні видів енергії.

У гідравлічній системі електрична енергія перетворюється в енергію обертання валу, потім в енергію рідини, енергію тертя в лініях передачі, знову в енергію обертового валу, що переходить через коробку передач на робочий орган. Результатом є потрібне перетворення та значні втрати відносно вхідної потужності. В електричній системі електроенергія проходить без будь-яких перетворень до електродвигуна, де вона перетворюється в енергію обертового валу і подається на коробку передач.

У результаті ефективність електричної системи ($\eta = 0,91 \dots 0,93$) перевищує ефективність гідравлічної ($\eta = 0,7$) за величиною коефіцієнта корисної дії, на 23...25%. При розрахунку щорічних витрат на енергопостачання систем, дана величина означає чималі додаткові витрати.

В електроприводі використовуються двигуни постійного та змінного струму, що мають різні експлуатаційні особливості. Перевагою приводу на змінному струмі – є більший показник потужності;

крім того, двигуни на змінному струмі мають більший діапазон швидкостей і можуть використовуватись на рівні 200% та більше від базової швидкості. Це дозволяє мати краще передатне відношення і відповідно ширший діапазон крутного моменту, що забезпечує вищу продуктивність на більш широкому діапазоні швидкостей.

Двигуни постійного струму можуть підтримувати максимальну потужність тільки на одній швидкості, тоді як двигуни змінного струму підтримують повну потужність у діапазоні швидкостей 100...150% від базової. Привод на змінному струмі також здатний підтримувати неперервний крутний момент.

Широковживані двигуни постійного струму при зупиненнях мають зменшену ємність у зв'язку з обмеженнями струму в комутаторі (щітці). У той час як індукційний двигун на змінному струмі може бути зупиненим на неперервному навантаженні, оскільки він не має щіток або комутаторів.

Перевагою будь якого приводу є якість керування швидкістю. Сучасні приводи змінного струму останнього покоління (наприклад, *PWM-IGBT Flux-Vector*, що розроблений компанією *Reliance Electric Co*) забезпечують контроль швидкості обертання робочого органу з великою точністю (похибка менше ніж $\pm 0,1\%$). Для порівняння: контроль швидкості двигуна постійного струму послідовного або паралельного збудження здійснюється із точністю $\pm 5\%$.

На прикладі двигунів потужністю близько 800 *кВт* на рисунку 7.1 наведено характерні графіки характеристик різного типу приводів. Вони демонструють перевагу електричного приводу. Адже, як видно з рисунку, простір під кожною характеристикою електроприводу постійного і змінного струму значно перевищує простір під характеристикою гідравлічного приводу.

Переваги та недоліки. Незважаючи на такі недоліки гідроприводу, в порівнянні з електроприводом, як:

- нижчий коефіцієнт корисної дії;
- вартість гідравлічних систем, як правило, вища від електричних систем аналогічного призначення;
- вищі витрати на технічне обслуговування;
- нижча надійність та ресурс, що значною мірою залежить від чистоти робочої рідини та якості її фільтрації;
- чутливість до зміни температури робочої рідини;
- більша складність монтажу гідроприводів, порівняно з електроприводом;
- чутливість до чистоти робочої рідини,

— — — — — – привод змінного струму; - - - - - – привод постійного струму;
- . - - - – гідравлічний привод

- простота здійснення різних видів руху – поворотного, обертового, поступального без допомоги додаткових перетворюючих механізмів;
- збереження працездатності при перевантаженнях, тобто здатність «зависати» – сприймати значні навантаження протягом тривалого часу;
- мала вага передавального механізму та його незначні розміри;
- велика потужність, що передається гідроприводом на одиницю його маси: маса гідравлічної машини (без врахування гідравлічного силового блоку, що розміщується окремо) в рази менша, чим маса електродвигуна аналогічної потужності;
- вибухобезпечне виконання.

Порівняння пневмоприводу та гідроприводу

Надати однозначну перевагу одному із цих приводів важко. Тому

вибір слід робити лише після детального вивчення всіх факторів «за» і «проти».

Тому розглянемо детально переваги та недоліки пневмоприводу, порівнюючи його з гідроприводом і навпаки.

Переваги пневмоприводу.

1. Можливість передачі пневматичної енергії на відстані, що досягають декількох кілометрів. Завдяки меншим втратам напору економічно доцільна відстань передачі енергії становить декілька десятків кілометрів. Це широко реалізується в пневмосистемах великих гірничих та промислових підприємств з централізованим живленням від компресорної станції. Для порівняння: обґрунтована протяжність гідросистем може сягати декількох сотень метрів.

2. Простота конструкції та відповідно легкість монтажу, обслуговування й експлуатації, що полягає у:

- відсутності потреби повернення до компресора робочого середовища (повітря). Тобто використовується одноканальне живлення виконавчих пневматичних механізмів, оскільки відпрацьоване повітря випускається безпосередньо в атмосферу без відвідних трубопроводів;
- неможливості до високої точності виготовлення деталей пневмоприводу для герметизації з'єднань, оскільки можливі перетікання повітря не суттєво знижують коефіцієнт корисної дії, а зовнішні негерметичності не шкідливі для довкілля та легко усуваються;
- невеликій вазі робочого тіла.

3. Надійність роботи та значний ресурс, що сягає 20 тис.год., або 50 млн циклів, полягає у:

- малій чутливості до температури навколишнього середовища, його запиленості й вологості, що особливо важливо для цехів металургійних підприємств;
- нечутливості до радіаційного та електромагнітного випромінювання, що важливо в космічному військовому та атомному машинобудуванні;
- простоті конструкції та виконанні функцій;
- неагресивності робочого середовища.

4. Високі робочі швидкості виконавчих органів пневмоприводу. Наприклад, лінійна швидкість може бути більшою за 15 м/с, а частота обертання пневматичного турбінного двигуна може перевищувати 100 хв⁻¹. Ця перевага реалізується в приводах циклічної дії високопродуктивного обладнання, наприклад, такого, як преси, машини точкового зварювання, центрифуг, шліфувальних машин. Висока швидкодія в гідроприводі та електроприводі обмежена

інерційністю системи (маса рідини чи ротора відповідно) та відсутністю демпфуючого ефекту (тому що повітря має здатність стискатися).

5. Пожежна та вибухова безпечність. В цьому пневмопривід поза конкуренцією на потенційно небезпечних підприємствах (нафтогазовидобувна промисловість, гірничо-рудні підприємства, хімічні виробництва), де недопустиме іскроутворення. Використовується за наявності централізованого джерела живлення (компресора, ресиверів) з передаванням пневматичної енергії на значні відстані.

6. Екологічність. Робоче середовище у випадку негерметичності системи не завдає шкоди довкіллю та не забруднює його, що дуже важливо в харчовій, медичній та електронній промисловості. Водночас для виробничих приміщень із забрудненим повітрям (хімічні, гірничі, металургійні тощо) відпрацьоване повітря з пневмосистеми покращує провітрювання робочого простору

7. Безпечність праці при експлуатації:

- відсутність запобіжних пристроїв від надлишкового тиску в робочій зоні споживача (загальний запобіжний клапан знаходиться на джерелі пневмоенергії);
- низькі робочі тиски в системі (як правило, до 10 атм);
- можливість повного гальмування без небезпеки пошкодження системи та перебування в цьому стані тривалий час;
- дотримання елементарних правил безпеки усуває можливість травматизму персоналу.

8. Економічна ефективність за рахунок: низької вартості елементів пневмоприводу та витрат на його монтаж, обслуговування і ремонт; доступності та безплатності робочого середовища – повітря.

9. Автономність та мобільність, а саме, можливість використання пневмоприводу за відсутності електроенергії шляхом використання джерела енергії балона (ресивера) зі стисненим газом, наприклад у польових умовах.

Недоліки пневмоприводу

1. Низький коефіцієнт корисної дії (*ККД*) при виробництві та передаванні пневматичної енергії на відстані. Це зумовлено подвійним перетворенням енергії (електродвигун – компресор – виконавчі органи), при якому енерговитрати більші, ніж у гідроприводі. Якщо *ККД* електроприводу орієнтовно становить 90%, гідроприводу – 70%, то *ККД* пневмоприводу, зазвичай, 15% і рідко перевищує 30%. Тому пневмопривід не використовується в машинах великої потужності та з тривалим режимом роботи (за винятком умов, що обумовлені безпекою).

2. Оскільки повітря при стисканні має властивість накопичувати енергію, то:

- при певних умовах ця енергія може перетворитись у кінетичну енергію рухомої маси й спричинити ударні навантаження;
- пневматичні силові системи не забезпечують високу плавність та точність ходу;
- виключається можливість фіксування органів керування в проміжних положеннях;
- важко отримати рівномірну та стабільну швидкість робочого тіла;
- для більш точного регулювання окремих видів руху, наприклад, величини повороту штоку приводу, необхідні дорогі пристрої – позиціонери.

3. Низька швидкість передачі сигналу (управляючого імпульсу), що призводить до запізнення виконання операцій. Адже швидкість проходження сигналу рівна швидкості звуку. Вона для повітря рівна 150...360 м/с (залежно від тиску повітря), в той час як для гідроприводу близько 1000 м/с, а електроприводу 300 000 м/с.

4. Використання низьких робочих тисків у системі (як правило, до 1 МПа) для запобігання виробничого травматизму при вибуховому руйнуванні трубопроводів. Відповідно, порівняно велика питома вага та габарити машин. За однакової потужності вага гідромашини в 5 разів нижча від ваги пневмомашини. Буває, за відсутності в робочій зоні обслуговуючого персоналу, використовують робочі тиски до 7 МПа (наприклад, на атомних електростанціях). У деяких випадках, коли системи мають незначні розміри й відповідно незначні об'єми робочого середовища та акумульованої ним енергії, тиски можуть сягати 20 МПа і вище.

5. Високий рівень шуму, який може сягати 95...130 дБ при роботі компресорів, пневматичних молотів та інших механізмів ударно-циклічної дії.

6. Конденсація водяної пари в результаті охолодження й нагрівання повітря при його розширенні в пневмодвигунах та стисненні в компресорах. Тому для запобігання перемерзання системи виникає потреба у встановленні додаткових систем осушування.

Тепер розглянемо переваги та недоліки гідроприводу порівняно з пневмоприводами.

Переваги гідроприводу.

1. Простота компонування основних вузлів гідроприводу всередині агрегатів та машин.

2. Можливість одночасної передачі на декілька приводів рівномірно розподіленого зусилля.

3. Можливість швидких та частих переключень при обертових

та зворотно-поступальних, прямих та реверсивних рухів.

4. Самозмашування поверхонь тертя при використанні масла як робочої рідини.

5. Простота автоматизації та керування.

6. Висока енергоємність системи за рахунок можливості використання високих тисків та конструкцій невеликого розміру.

7. Висока рівномірність руху поршня чи валу та відсутність ударів в кінці ходу поршня за рахунок порівняно невисоких відносних швидкостей потоку рідини та її властивостей не стискатись.

Недоліки гідроприводу.

1. Неможливість ефективної передачі гідравлічної енергії на великі відстані, що обумовлено втратами напору в гідравлічних лініях.

2. Невисокі швидкості руху поршня, що обумовлено високими гідравлічними втратами в системі.

3. Можливе підтікання масла, внаслідок чого забруднюється робоча зона та зростає пожежонебезпека.

4. Використання більш дорогого та складного обладнання (наприклад, насосні станції дорожчі від компресорних установок).

5. Високі вимоги до точності виготовлення деталей гідрообладнання для забезпечення високого об'ємного ККД.

6. Чутливість робочих параметрів гідроприводу до температури робочого середовища (масла), яка залежить, як від температури навколишнього середовища, так і від тривалості роботи. Це спричиняє зміну в'язкості масла та гідравлічних втрат у системі. В окремих випадках, для запобігання цьому, необхідне використання спеціального теплового захисту та охолоджуючих пристроїв.

7. Необхідність високої герметичності системи для запобігання попадання в неї повітря, наявність якого в робочому середовищі приводить до його нагрівання, гідравлічних втрат та нестабільної роботи системи в цілому.

8. Високі вимоги до чистоти робочої рідини. Її забрудненість спричиняє передчасний знос пар тертя; у результаті збільшується перетікання робочої рідини, зменшується об'ємний ККД. Навіть новопридбане масло в новій герметичній ємності від виробника не завжди є достатньо чистим для роботи гідравлічних систем високого тиску. Тому ключовим фактором надійності є використання фільтрів в усіх контурах. Надійна гідравлічна система має бути обладнана фільтрами відповідного розміру, як в лініях високого тиску, так і в системі відводу. Також слід забезпечувати чистоту ємності з робочим середовищем.

Порівняння пневмоприводу та електроприводу між собою не

наводиться з тих міркувань, що пневмопривод, як правило, не може бути використаний як альтернатива електроприводу та навпаки. А вказані переваги та недоліки в наведених порівняннях достатньо характеризують ці види приводів.

Маючи такий широкий спектр «за» і «проти» творець нової техніки повинен творчо підійти до вибору того чи іншого приводу машин.

У багатьох машинах спеціального призначення з метою отримання максимального ефекту одночасно можуть застосовуватися комбіновані приводи з використанням електричних, пневматичних та гідравлічних систем.

7.3 ПЕРЕДАЧІ ТА МУФТИ

передачі зачепленням; фрикційні передачі; багатопотокові передачі; муфти

При творенні технічних систем немале значення має правильний вибір передавальних механізмів, які призначені для погодження параметру руху валу двигуна з параметрами руху ведучої ланки виконуючого механізму. Механізми за видом передачі енергії можна поділяти на: передачі зачепленням або передачі тертям – фрикційні передачі через фрикційний контакт. А за кількістю енергетичних потоків на одно- та багато потокові.

Поряд з цим передавальні механізми поділяються й за ознаками:

- взаємного розташування валів: паралельне, пересічне та перекресне;
- передатного відношення: постійне, ступінчасто-змінне, безступінчасто-регульоване;
- виду руху валів: рядні, планетарні;
- числа ступенів: одноступеневі, багатоступеневі;
- виконання корпусу: відкриті, закриті.

Передачі зачепленням

У передачах зачепленням основні деталі (колеса) – мають зуби, внаслідок зачеплення яких відбувається передача крутного моменту. Якщо передача забезпечує постійне передатне відношення і служить для зниження частоти обертання веденого валу, то вона називається редуктором, для підвищення – мультиплікатором, якщо в передачі змінюється передатне відношення, то її називають варіатором.

Зубчасті передачі. Зубчасті передачі дуже широко застосовуються в приводах машин. Вони можуть передавати рух при будь-якому взаємному розміщенні осей, їх колові швидкості можуть сягати 200 м/с, а потужності до 100 МВт. Їх часто виконують

в якості самостійних агрегатів, розміщуючи в окремому корпусі, герметичному для масла й непроникному для пилу.

Перевагою зубчастих передач є можливість передачі високої потужності та робота в широкому діапазоні швидкостей при порівняно невеликих габаритах, високий *ККД*, постійність передатного відношення, висока надійність та довговічність.

Проте навіть незначні неточності форми зубів призводять до їх передчасного зносу. Це є принциповим недоліком передач зачепленням. Підвищенням точності виготовлення зубчастих коліс, застосуванням зубів спеціальної форми знос можна пом'якшити, але не можна усунути повністю. Тому, наприклад, у верстатах для тонкої остаточної обробки поверхонь обертання шпинделю передається, в більшості випадків, не зачепленням, а тертям, як правило, пасовою передачею. Також недоліком зубчастих передач є їх шумність та неможливість іноді забезпечити необхідне передатне число, оскільки воно визначається відношенням цілих чисел, що відповідають кількості зубів.

Конструктивні особливості зубчастих передач можна класифікувати так:

- за формою лінії зуба: прямозубі, косозубі, з гвинтовим зубом;
- за формою зубчастих коліс: циліндричні, конічні, некруглі;
- за розміщенням зубів: із зовнішнім зачепленням, із внутрішнім зачепленням;
- за розміщенням осей: паралельними, пересічними, перехресними.

Черв'ячні передачі. Черв'ячні передачі використовують для передачі обертового руху між перехресними валами, міжосьовий кут яких може бути довільним, але найчастіше використовують ортогональні з кутом 90° . Залежно від форми черв'яка передачі можуть бути циліндричні та глобоїдні, які мають більш високу навантажувальну здатність та *ККД*. Але вони складніші у виготовленні й монтажі.

За масою та габаритними розмірами черв'ячні редуктори знаходяться на рівні двоступінчастих циліндричних, але втрати на тертя в них в 2,5...5 разів вищі. Це веде до значного тепловиділення та необхідності застосування спеціальних пристроїв для тепловідведення (оребрення корпусу, обдув тощо). Також у черв'ячному редукторі виникають значні осьові навантаження, а це вимагає застосування спеціальних підшипників, наприклад, радіально-упорних.

Але черв'ячні редуктори мають і переваги:

- можливість отримання значного передатного відношення на одній ступені;

- плавність та безшумність роботи;
- можливість отримання самогальмуючих передач, що інколи дозволяє уникнути використання гальм.

Ланцюгові передачі. Ланцюгові передачі належать до передач зацеплення з гнучкими зв'язками.

За допомогою ланцюгової передачі можна досягнути передатного числа 10, при цьому його найбільш раціональне значення не перевищує 4 і забезпечує ККД до 0,97. Швидкість ланцюга у приводах загального призначення сягає 15 м/с при передачі потужності до 100 кВт. У спеціальних приводах ці значення досягають 35 м/с і 2 МВт відповідно.

Перевагами ланцюгових передач є можливість передачі руху на значні відстані, що можуть сягати 8 м між валами, високий ККД (0,98), можливість передавання обертового руху декільком валам, у тому числі з протилежним напрямом обертання.

Недоліками є збільшення довжини ланцюга через спрацювання і відповідно ослаблення натягу, шумність та низька точність при реверсуванні руху.

Ланцюгові передачі можна класифікувати за такими ознаками:

- за типом ланцюга: роликові, втулкові, зубчасті;
- за відстанню між валами: регульовані та з постійною відстанню;
- за способом регулювання натягу: з періодичним регулюванням та неперервним;
- за кількістю зірочок, що охоплюються одним ланцюгом: дво-зіркові, три і більше зіркові;
- за конструктивним виконанням: відкриті та закриті (в корпусі з неперервним мащенням).

Ланцюгові передачі широко застосовуються в транспортних та технологічних машинах, зокрема в системах транспортування (екскаватори, елеватори, лебідки, конвеєри).

Передачі зубчастими пасами. Цей вид передач класифікується як зубчаста передача. Вони мають переваги і недоліки пасових передач за винятком такого основного недоліку фрикційних передач, як проковзування та, відповідно, несталість передатного відношення. Тому передачі зубчастими пасами знайшли широке застосування в техніці.

Фрикційні передачі

Фрикційні передачі здійснюють передачу руху за рахунок тертя. Вони використовуються не тільки для передавання обертового руху, а й широко застосовуються для перетворення обертового руху в поступальний (наприклад у транспортних машинах: колесо-дорога,

колесо-рейка; у прокатних станах металургійної промисловості: каток-виріб тощо). Широкого застосування набули фрикційні передачі у варіаторах – механізмах безступеневого регулювання кутової швидкості.

За допомогою фрикційних передач забезпечуються значні передатні відношення, але з метою обмеження габаритів рекомендують приймати їх не більше десяти. Коефіцієнт корисної дії фрикційних передач знаходиться в межах $0,90 \dots 0,95$.

Фрикційні передачі розрізняють за такими ознаками:

- орієнтацією осей (паралельні, пересічні);
- формою ободу (гладкий, клиновий);
- типом дотикання (внутрішнє, зовнішнє).

Перевагами фрикційних передач є: простота конструкції, безшумність, можливість використання на високих швидкостях, проковзування (що запобігає перевантаженню веденого валу і поломки передачі). У той же час фрикційні передачі вимагають використання спеціальних притискувальних пристроїв, створюють великі навантаження на вали та підшипники, можуть проковзувати і таким чином виникає несталість передатного відношення.

Нижче розглянемо найбільш характерний вид фрикційних передач – пасові, які знайшли особливо широке застосування в машинобудуванні (у приводах електрогенераторів, вентиляційних системах, технологічних машинах легкої промисловості, металобробних верстатах і таке інше).

Пасова передача складається з ведучого й веденого шківів та замкнутої форми приводного паса, що розміщується на шківках з попереднім натягом. Пас, в результаті сил тертя між ним та шківом, передає енергію від ведучого шківка веденому.

Пасові передачі призначені для передачі потужності в межах $0,2 \dots 50 \text{ кВт}$, проте зустрічаються унікальні конструкції, що здатні передавати значно більшу потужність. Передатне відношення допускається до $5 \dots 6$, в окремих випадках до 10. Швидкість руху пасів у передачах загального призначення не перевищує 30 м/с . Спеціальні швидкохідні паси можуть експлуатуватися при швидкостях до 50 і навіть до 100 м/с . ККД пасових передач різних типів становить близько $0,90 \dots 0,97$.

Пасові передачі не забезпечують жорсткого зв'язку між шківами через можливість проковзування паса на шківках. Тому в кінематичноточних приводних механізмах пасові, як і будь-які фрикційні передачі, застосовують дуже рідко.

Подамо оцінку пасовим передачам у формі переваг та недоліків.

Основні переваги:

- можливість передавання руху між валами, що знаходяться на значній відстані;
- плавність та безшумність роботи, які обумовлені еластичністю паса;
- запобігання різкому перевантаженню елементів машини внаслідок пружності паса та можливості його проковзування на шківках;
- простота конструкції, обслуговування та догляду в експлуатації.

Основні недоліки:

- неможливість виконання малогабаритних передач (для однакових умов навантаження діаметри шківів майже у 5 разів більші, ніж діаметри зубчастих коліс);
- несталість передатного відношення через можливе проковзування паса;
- підвищене навантаження валів та їхніх опор, що пов'язане із потребою достатньо високого попереднього натягу паса;
- низька довговічність приводних пасів (у межах 1000...5000 год.).

Багатопотокові передачі

З метою зменшення габаритів і маси приводу часто застосовують принцип поділу силового потоку на декілька паралельних силових ланок. У широкому розумінні багатопотоковою можна назвати будь-яку передачу, у якій є розділення силового потоку.

Наприклад, поділ потоків має місце в шевронній передачі. Також поділ на окремі силові потоки використовують у планетарних передачах. У клинопасових передачах момент на ведений шків передається декількома паралельно працюючими клиновими ремнями.

Багатопотокова передача потужності має на меті зменшення навантаження на одну передаючу ланку з метою збільшення її надійності, отримання більш компактних передач. Разом із цим різнорозмірність паралельно працюючих ланок внаслідок похибок виготовлення і їх деформацій призводить до нерівномірного розподілу навантаження на ланки. Завдання розробника полягає в тому, щоб знайти економічно доцільні рішення, що знижують цю нерівномірність.

У деяких випадках багатопотокові передачі використовуються для задоволення спеціальних вимог передачі обертання від декількох джерел на один ведений вал, і навпаки – від одного ведучого валу на кілька ведених.

Муфти

Муфтою називають вузол машини, який передає крутний момент без зміни його величини з одного валу на інший чи на деталь (наприклад, шків, зубчасте колесо тощо). Крім цього, муфти можуть виконувати інші важливі функції: компенсацію невеликих монтажних відхилень взаємного розташування вузлів і агрегатів, роз'єднання валів, автоматичне керування роботою машини, плавне сполучення валів при запуску машин, захист машин від поломок в аварійному режимі тощо.

Основною характеристикою муфти є величина крутного моменту, на передавання якого вона розрахована. Важливими показниками конструкцій муфт є частота обертання, габаритні розміри, маса й момент інерції.

Стандартні муфти, як правило, не розраховують, а підбирають за обертовим моментом у відповідних довідниках. Лише у деяких випадках (у разі потреби) виконують перевірні розрахунки.

Сучасне машинобудування в своєму розпорядженні має великий арсенал муфт, що різняться за функціональним призначенням, принципом дії і конструктивним виконанням.

Усі муфти приводів машин за видом енергії, яка бере участь в передачі руху ділять на такі типи: механічні, гідравлічні, електромагнітні.

Механічні муфти, у свою чергу, поділяються на чотири класи (некеровані, керовані, самокеровані та комбіновані), кожен з яких поділяється на групи, групи – на підгрупи, а ті на види і так далі. Наведемо стисло характеристику механічних муфт за окремими класами і стисло опишемо їх призначення.

Некеровані служать для постійного сполучення двох валів або валу з деталлю. Вони бувають:

- жорсткі (глухі), що забезпечують стале особливо точне і надійне сполучення валів з допустимим зміщенням осей $0,002 \dots 0,005$ мм;
- пружні, що компенсують динамічні навантаження (коливання, поштовхи, удари), невеликі радіальні та кутові зміщення;
- компенсуючі, що служать для компенсування радіальних, осьових і кутових зміщень валів.

Керовані служать для сполучення або роз'єднання валів або валів зі встановленими на них деталями через органи керування, поділяються на кулачкові, фрикційні.

Самокеровані спрацьовують автоматично при досягненні певного значення якоїсь із величин, що характеризує режим роботи муфти. Їх поділяють на:

- відцентрові, для обмеження частоти обертання;
- обгінні для передачі обертання тільки в одному напрямку;

- запобіжні для обмеження моменту, що передається (за принципом роботи бувають: з елементом, що руйнується; пружинно-кулачкові; кулькові або пружинно-кулькові й фрикційні).

Комбіновані конструктивно поєднують властивості пружних чи жорстких муфт із функціями запобіжних (пружні запобіжні, жорсткі запобіжні).

Гідравлічні муфти є гідродинамічною передачею, яка забезпечує м'який запуск приводу з низьким стартовим обертовим моментом. Складається з двох робочих коліс в одному герметичному корпусі. Одне колесо (на ведучому валу) працює як відцентровий насос, а інше (на веденому валу) як гідравлічна турбіна. Колеса максимально зближені, але не дотикаються. Рідина при обертанні насосного колеса потрапляє на турбінне, передаючи обертовий момент.

Електромагнітні муфти – це спеціальні пристрої, що здійснюють управління передачею обертання зі вхідного валу на вихідний за допомогою електромагнітних полів.

Під час проектування приводу машини важливе значення має вибір класу й групи муфт для з'єднання валів електродвигуна й редуктора, редуктора й робочого органу машини. Клас муфт переважно залежить від призначення машини та особливостей робочого процесу. Групу муфт вибирають із урахуванням таких факторів, як потреба компенсації похибок монтажу елементів приводу, зменшення динамічних навантажень в приводі, потреба керування роботою машини, захист деталей машин від руйнування тощо.

Під час вмикання електродвигуна процес його розгону до номінальної частоти обертання відбувається швидше, якщо момент інерції муфти малий. У приводах, призначених для розгону великих мас, наприклад, процес запускання в дію асинхронних електродвигунів, полегшується використанням відцентрових або фрикційних муфт.

7.4 ЦИКЛОГРАМИ МАШИН

Більшість механізмів у машинах мають циклічний характер роботи. За період циклу проходить певна кількість операцій і процесів.

Періодичність дискретного машинно-технологічного процесу характеризується робочим, технологічним і кінематичним циклом.

Робочим циклом називають періодично повторювані операції, по виконанню яких машина видає готовий виріб.

Технологічним циклом називають такий цикл, протягом якого виконуються всі операції обробки об'єкта.

Кінематичним циклом називають період переміщення механізмів, після якого всі ланки й виконавчий орган машини

приймають положення і напрям руху, що і на початку циклу.

Також можна розглядати динамічний, енергетичний, інформаційний та інші цикли.

У результаті система приходить у той самий стан, в якому вона перебувала на початку циклу. При створенні нової техніки (машин) необхідно синхронізувати переміщення виконавчих ланок і послідовність відносних положень ланок механізмів машин в середині циклу. Для аналізу часу окремих інтервалів руху (робочих і допоміжних), оцінки можливості суміщення технологічних і транспортних операцій, скорочення часу деяких операцій, поділ операцій на менш тривалі переходи, послідовності їх виконання та інші питання оптимізації робочого процесу використовують циклограми, з допомогою яких часто досягається зменшення часу циклу і, як наслідок, підвищення продуктивності машин.

Циклограма – це графічне зображення умовними знаками рухів окремих механізмів машини та узгодженості їх переміщень.

В основу розробки циклограм беруть синхронні в часі графіки переміщень виконавчих органів механізмів або пристроїв. За графічним зображенням циклограм бувають кругові, прямокутні та лінійні.

Кругові циклограми виражають послідовність операцій, що виконуються механізмами в залежності від кутового переміщення розподільного валу. Цикл, рівний або більший за 360° повороту розподільного валу, може також бути представлений прямокутною циклограмою. У цьому випадку цикли окремих механізмів зображають витягнутими по горизонталі прямокутниками.

На круговій і прямокутній циклограмах графіки переміщень не зображують, а інтервали окремих етапів руху або операцій виділяють штрихуванням або товстими лініями, протяжність яких відповідає певним етапам руху.

Лінійні циклограми виражають стан виконавчого органу окремих механізмів ламаними прямими. На лінійній циклограмі графіки переміщень виконавчих органів умовно зображають похилими прямими, а періоди зупинки – горизонтальними прямими.

Для машин із автоматичним керуванням наглядною є побудова сумісних циклограм виконавчого органу машини й системи її керування. Момент часу подачі команд позначають у двійковому коді цифрами: 0 – вимкнено, 1 – увімкнено.

Узгодження переміщень виконавчих ланок механізму проводять залежно від часу, або від положення ланок. У першому

випадку використовують систему управління часом, у другому – систему управління рухом.

Проміжок часу, по закінченню якого повторюється послідовність переміщення всіх виконавчих ланок механізму, називають часом циклу. На циклограмах іноді вказують на осі не час, а кут повороту головного валу основного механізму. Умовно вважають, що цей вал обертається рівномірно.

Для візуалізації особливостей управління системою механізмів із декількома двигунами наведено принципову схему агрегатного верстата (рис. 7.2) та циклограму його роботи (рис. 7.3).

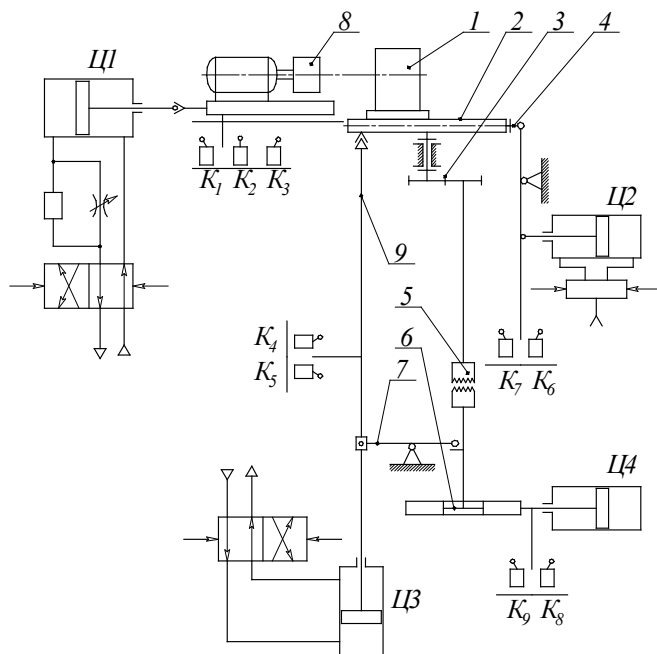


Рисунок 7.2 – Принципова схема агрегатного верстата

1 – деталь; 2 – поворотний стіл; 3 – зубчаста передача; 4 – гальмо; 5 – муфта кулачкова; 6 – передача рейкова; 7 – важіль; 8 – свердлова головка; 9 – фіксатор; Ц1 – циліндр пересування свердлової головки; Ц2 – циліндр гальма; Ц3 – циліндр фіксатора; Ц4 – циліндр обертання столу; $K_1, \dots, K_9$ – перемикачі

На поворотному столі 2 верстата (рис. 7.2) встановлено деталь 1. У деталі 1 обробляється один отвір за допомогою свердлової головки 8, що переміщається по направляючій за допомогою циліндра Ц1. Положення свердлової головки 8 фіксується перемикачами: K_1 і K_3 у крайніх положеннях і K_2 – при зміні швидкості

подачі з холостого (швидкого) ходу на робочий та навпаки. Під час обробки планшайба займає певне положення, яке встановлюється фіксатором 9, переміщуване за допомогою циліндра Ц3. Положення фіксатора контролюється перемикачами K_4 і K_5 . У фіксованому положенні планшайба надійно закріплюється гальмом 4, що приводиться в дію циліндром Ц2. Положення штока циліндра Ц2 контролюється перемикачами K_6 і K_7 .

Після закінчення обробки отвору планшайба повертається навколо своєї осі за допомогою зубчастої передачі 3, рейкової передачі 6 й циліндра Ц4. Після повороту і фіксації положення планшайби шток циліндра Ц4 повертає рейку в початкове положення. Положення штока фіксується перемикачами K_8 і K_9 .

Переміщення (подача) свердлової головки (рис. 7.3) здійснюється за трьома режимами:

- швидке підведення інструмента до деталі, відрізок a_1 a_1' ;
- робоча подача під час свердління, відрізок a_1' a_1'' ;
- швидке відведення головки в початкове положення, відрізок a_1'' a_1 .

Положення затиснутої планшайби позначають a_2 , а звільненої – a_2' , таким чином відрізок ($a_2' - a_2$) відповідає інтервалу затискання, а ($a_2 - a_2'$) – звільненню (розтисканню). Положення фіксатора позначають у відведеному стані a_3 , а в підведеному (фіксації) a_3' . Стан планшайби під час її повороту і при зворотному ході рейки (зупинка) відповідно позначають a_4 і a_4' . Похилими лініями на циклограмі показані інтервали переміщення виконавчих органів і відповідних їм штоків силових циліндрів.

При розробці циклограми враховують необхідні блокування: цикл може початися після включення обертання ріжучих інструментів; обробка може проводитися тільки після затиску планшайби в фіксованому положенні; звільнення планшайби і відведення фіксатора можливе лише після виведення інструмента з оброблюваного отвору; при поломці інструмента вимикається обертання шпинделя головки і подача силової головки; після виконання операції всі механізми (за винятком планшайби, що повертається в заданому напрямку) займають вихідні положення.

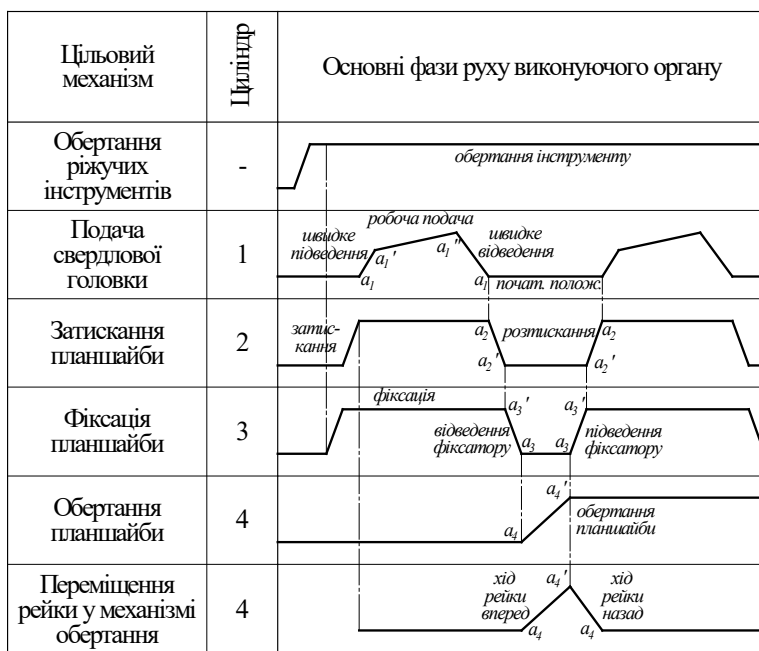


Рисунок 7.3 – Циклограма роботи агрегатного верстата

Іноді використовують видозмінені циклограми роботи системи механізмів, в яких не враховується масштаб часу. Така циклограма відображає тільки послідовність увімкнень тих чи інших механізмів і керуючих пристроїв. Її прийнято називати тактограмою, або таблицею ввімкнень. Тут оперують тактом роботи системи механізмів і пристроїв, який визначається проміжком часу між двома сусідніми змінами його положення.

7.5 ПРОМИСЛОВІ РОБОТИ

історія розвитку; рухові функції; системи автоматизованого керування

У процесі науково-технічного прогресу логічним є передача машинам функцій людини (аж до самокерування). Комплексна механізація й автоматизація виробничих процесів здійснюється за допомогою технологічних машин – промислових роботів, автоматів й автоматичних ліній. Тому технічний прогрес потребує створення все більш досконалих промислових роботів, котрі мають економічну ефективність і є важливим засобом інтенсифікації виробництва машин.

Роботизація (застосування промислових роботів) – це основний підхід до розвитку й удосконалення машин.

Промисловий робот – це переналагоджувана автоматична машина (стаціонарна або пересувна) для виконання заданих маніпуляцій у виробничому процесі. Переналагодження включає в себе перепрограмування й механічне переналагодження робота, а маніпуляції полягають у переміщенні й орієнтації в просторі об'єктів маніпулювання.

Невід'ємною складовою промислових роботів є маніпулятори – керовані технічні пристрої, призначені для відтворення робочих функцій руки людини.

Залежно від виду системи керування розрізняють маніпулятори з ручним та автоматичним керуванням. У маніпуляторах з ручним керуванням оператор, впливаючи на ланки керуючого механізму, призводить до руху ланки виконавчого механізму. Однак у цьому випадку граничні зусилля і переміщення виконавчого механізму обмежуються можливостями оператора.

Цей недолік відсутній у маніпуляторів із сервоприводами, тобто допоміжними приводами, які призводять до руху окремі ланки виконавчого механізму за сигналами, що подаються при русі ланок керуючого механізму. Керуючий механізм служить тільки для створення програми дій виконавчого механізму. У цих випадках маніпулятор з автоматичним керуванням отримав назву робот-маніпулятор.

Історія розвитку

Повернемося на півстоліття і згадаємо, як починалася історія створення промислових машин-автоматів. Перші роботи з'явилися в *США* в 60-х роках минулого століття. Промисловий робот був оснащений двопальцевим пристроєм для захоплення на пневмоприводі й «рукою» на гідроприводі з п'ятьма ступенями свободи. Його характеристики дозволяли переміщати 12-кілограмову деталь із точністю до 1,25 мм. «Розумна» машина запам'ятовувала координати точок свого маршруту й виконувала роботу згідно з програмою. Такі промислові роботи, яких можна вважати роботами першого покоління, у вартісному вираженні містили 75% механіки і 25% електроніки. Їх переналагодження вимагало часу й обумовлювало простої устаткування. Для перепрофілювання їх з метою виконання нової роботи проводилася заміна програми керування.

Друге покоління передбачало більш тонке керування промисловими роботами – адаптивне. Роботи вимагали «впорядкування» середовища, в якому вони працювали. Тому цей етап характеризувався розробкою безлічі датчиків, за допомогою яких робот отримав так звану чутливість. Завдяки їй він отримував інформацію

про зовнішнє середовище і в узгодженості із довкіллям, вибирає оптимальний варіант дії. Наприклад, взявши деталь, маніпулятор робота самостійно оминає з нею перешкоди. Відбувається така дія завдяки мікропроцесорній обробці отриманої інформації. Операції при їх виконанні підлягають адаптації, тобто ініціюється багато-варіантність для покращення якості виконання будь-якої функції.

Адаптивне керування в основному здійснюється програмно й базується на багатоваріантному програмному забезпеченні. При цьому рішення про вибір варіанту програми приймається роботом на підставі інформації про середовище, описаної детекторами.

Характерною рисою функціонування робота другого покоління є попереднє встановлення режимів роботи, кожен з яких активується при певних показниках, отриманих із зовнішнього середовища.

Роботи-автомати третього покоління здатні самостійно генерувати програму своїх дій залежно від завдання й умов зовнішнього середовища. У них немає «шпаргалок», тобто розписаних технологічних дій при певних варіантах зовнішнього середовища. Вони володіють умінням самостійно оптимально вибудовувати алгоритм своєї роботи, а також оперативно реалізовувати його практично. Вартість електроніки такого промислового робота в десятки разів вища його механічної частини.

Новітній робот, здійснюючи захоплення деталі завдяки сенсорам, «знає», наскільки вдало він це зробив. Крім того, регулюється сама сила захоплення (завдяки зворотному зв'язку по зусиллю) у залежності від крихкості матеріалу деталі. Можливо, саме тому пристрій промислових роботів нового покоління називають інтелектуальним. «Мозком» такого приладу є система його керування. Найбільш перспективним є регулювання, яке здійснюється відповідно до методів штучного інтелекту. Інтелект цим машинам задають пакети прикладних програм, програмовані логічні контролери, інструменти моделювання.

Рухові функції

Промисловий робот складається з трьох основних частин: приводів, виконавчого пристрою і системи автоматизованого керування.

Приводи призначені для приведення в рух ланок виконавчого пристрою і пересування самого робота.

Як правило, використовують приводи трьох видів: гідравлічні, пневматичні та електричні. Якщо донедавна найбільшого поширення мали гідравлічні приводи і дещо менше – пневматичні, то нині, з розвитком спеціальних електродвигунів, які не вимагають редукторів, мають малий момент інерції й підвищену

навантажувальну здатність, електричний привід домінує. Найбільшого застосування при цьому знайшли електродвигуни постійного струму та крокові електродвигуни. Сучасною альтернативою є п'єзодвигуни, які уже використовуються в деяких роботах. Приводи можуть розташовуватися як безпосередньо на рухомих ланках маніпуляторів, так і бути винесеними на стійку (корпус, раму) робота.

Виконавчий пристрій має кілька ступенів рухливості й служить для виконання рухових функцій.

Простір, в якому може перебувати виконавчий пристрій при функціонуванні маніпулятора, називається робочим простором маніпулятора. Та частина робочого простору, в якому робочий орган виконує свої функції відповідно до призначення маніпулятора і встановленими значеннями їх характеристик, називається робочою зоною або зоною обслуговування. Конфігурація робочого простору та зони обслуговування визначається кількістю ступенів свободи і безпосередньо залежить від кінематичних пар маніпулятора, їх розмірів та взаємної орієнтації. Найбільшого поширення мають робочі зони у вигляді площини, поверхні, призми, циліндра та кулі, віднесені до відповідних системи координат: прямокутна, циліндрична, сферична.

Для забезпечення руху в прямокутній системі координат достатнє застосування тільки поступальних пар. Можливість переміщення об'єкта у сферичній робочій зоні забезпечують обертові рухи ланок. Отже маніпулятори, структурні схеми яких поєднують декілька видів руху, мають значно ширші можливості, зокрема, наявність ланок із двома поступальними й одним обертотвим рухом дає можливість маніпулювати об'єктом в об'ємно-циліндричній робочій зоні; а структура з двома обертотвими й одним поступальним рухом ланок дає можливість маніпулювати у значно більшій сферичній зоні.

При цьому не всі частини робочого простору однаково зручні для виконання заданих рухів захоплювача. У зв'язку з цим рухи захоплювача поділяють на чотири класи:

- рухи захоплювача з вільним об'єктом маніпулювання у вільному робочому просторі;
- рухи захоплювача з вільним об'єктом в обмеженому робочому просторі (є перешкоди у вигляді нерухомих об'єктів);
- рухи захоплювача у вільному робочому просторі з об'єктом маніпулювання, на який накладено зв'язки;
- рухи захоплювача в обмеженому робочому просторі з об'єктом маніпулювання, на який накладено зв'язки.

Для випадку, коли зона обслуговування визначається розташуванням місця захоплення по відношенню до об'єкта маніпулювання, необхідно для кожної точки робочої зони визначити тілесний кут ψ , в середині якого можна виконати захоплення в цій точці. Цей кут називається кутом сервісу.

Відношення $\psi/4\pi = \theta$ називається коефіцієнтом сервісу в даній точці. Значення цього коефіцієнта може змінюватися від 0 для точок на межі об'єму до 1 для точок зони повного сервісу.

Якість маніпулятора щодо можливостей повноти виконання різних операцій оцінюється середнім коефіцієнтом сервісу θ в об'ємі робочого простору.

Системи автоматизованого керування роботами заслуговують розгляду в окремому пункті.

Системи автоматизованого керування

Основою будь-яких сучасних машин, якими є роботи, є система взаємозв'язаних різноманітних механізмів, з'єднаних між собою і призначених для виконання взаємоузгоджених рухів, які підпорядковані загальними для машини закономірностям. У будь-якій системі механізмів повинні бути узгоджені параметри функціонування, тобто положення, швидкості й прискорення виконавчих ланок окремих механізмів, керуючих і контролюючих пристроїв.

Вплив на роботу технічної системи здійснюється шляхом передачі інформації. Таким чином процес керування – це постійне отримання, опрацювання та передача інформації. Досягнення необхідної мети шляхом спрямованого керуючого впливу на об'єкт або систему називають *керуванням*, а сукупність пристроїв, які здійснюють керуючі функції, називають *системою керування*. Сукупність приписів (тобто послідовність і зміст команд), що забезпечують заданий режим функціонування системи механізмів, називають *програмою керування* або *алгоритмом керування*. Замкнений ланцюг елементів системи керування, що утворений ланками прямого й зворотного зв'язку, називається *контуром керування*.

Побудова апаратури керування і автоматичних систем базується на таких загальних принципах:

- принцип регулювання за відхиленням;
- принцип регулювання за збуренням;
- принцип комбінованого регулювання;
- принцип адаптації.

Система керування приводом генерує керуючі сигнали у відповідності із закладеними алгоритмами і результатами аналізу інформації,

що поступає, по-перше, від датчиків поточного стану приводів, і, по-друге, від пристрою, котрий задає та формує закон руху приводу згідно з вимогами технічного процесу. Для її створення необхідно мати графічні залежності рухомої сили та швидкості об'єкта від часу і циклограми руху всіх робочих органів.

Якщо система керування забезпечує необхідну узгодженість руху всіх виконавчих пристроїв у залежності від часу, то її називають системою керування машини за часом.

Якщо система керування забезпечує необхідну узгодженість руху всіх виконавчих пристроїв у залежності від положення, то її називають системою керування машини в просторі.

Якщо система керування виконує задачу автоматичного підтримання вихідної величини об'єкта керування на заданому рівні, то її називають системою автоматичного регулювання.

У системах автоматичного керування всі управляючі дії здійснюються без участі людини. При напіваавтоматичному (автоматизованому) і ручному керуванні керуючі дії виконуються або виробляються за участю людини-оператора.

За видом початкової (апріорної) інформації, що включається в програму управління механізмами, системи автоматичного керування поділяють на дві групи: з повною початковою інформацією, з неповною початковою інформацією.

У першому випадку задана програма є незмінною (жорсткою) і виконується незалежно від результатів процесу. Тільки в екстремальних умовах її виконання може бути припинено, якщо з яких-небудь причин контрольовані параметри досягли гранично допустимих значень.

У другому випадку з метою оптимального керування неповна початкова інформація доповнюється поточною інформацією, що виробляється за допомогою різних вимірювальних, контролюючих пристроїв і датчиків та використовується для коригування дії машини, тобто система управління є адаптивною. В окремих складних випадках достатньо задати останні ланки виконуваних функцій, і технічна система з адаптивним управлінням, використовуючи програмне забезпечення та інформацію про стан машини і оточуючого середовища в робочому просторі, логічно оцінює ситуацію та знаходить оптимальне рішення з урахуванням конкретної обстановки відповідно до розроблених алгоритмів пошуку.

Сьогодні активно розвивається та використовується напрямок нечіткої логіки в керуванні машиною (*fuzzy control system*). Термін «нечіткий» означає, що логічне поняття в керуванні не може бути виражене як «істинний» або «брехня», а означає «частково істинний». Тобто, на відміну від класичної логіки, яка працює на дискретних значеннях

1 або 0 («істина» або «брехня» відповідно), математичний апарат нечіткої логіки аналізує вхідні значення в змінних, які є безперервними в інтервалі значень 0...1.

Адаптивна система автоматичного керування – це система, у якій автоматично змінюється алгоритм керування з метою збереження показників якості при довільному зміщенні характеристик керованого об'єкта та зовнішніх умов.

Найвищим рівнем систем автоматичного управління технічних систем є самонавчаючі. Такі системи за своїми принциповими можливостями стоять на рівні живих істот. Нині роботи по створенню такого типу систем управління знаходяться тільки на початковому етапі.

Найпростішу самонавчаючу систему автоматичного управління можна представити як результат автоматизації процесу удосконалення контуру управління адаптивної системи.

Система автоматичного керування, окрім основного контуру адаптивного керування, доповнюється другим контуром адаптації, який володіє пам'яттю та діє повільніше основного контуру, корегуючи його алгоритм за результатами аналізу багаторазової роботи в ході експлуатації технічної системи. Другий контур адаптації має свої критерії якості управління. Здійснюючи оптимізаційні обчислення, керуючий пристрій цього контуру впливає на основний контур пробними сигналами. Результат їх дії опрацьовується, і при досягненні позитиву вносять необхідні корегування в алгоритм основного контуру. У свою чергу система може буди доповнена третім, ще більш повільно діючим контуром, що впливає на другий контур адаптації.

Нині роль удосконалення адаптивної системи керування виконує людина в міру накопичення досвіду експлуатації. Але в майбутньому будуть створені такі технічні системи, що за своїми «розумовими здібностями» перевершуватимуть людину.

Використана література

1. Бучинський М. Я., Світлицький В. М. Системи верхнього приводу для буріння та підземного ремонту свердловин. – Київ: Інтерпрес ЛТД, 2005. – 77с.
2. Мала гірнича енциклопедія, т.1-3 / За редакцією В. С. Білецького. – Донецьк: Донбас, 2007 – 2013. – 652 с.
3. Машиностроение. Энциклопедия / ред.совет: К. В. Фролов (пред.) и др. М38 М.: Машиностроение. Электроприводы. Т. IV-2 / Л. Б. Масандилов, Ю. Н. Сергеевский, С. К. Козырев и др.; под общ. ред. Л. Б. Масандилова, 2012. – 520 с.
4. Энциклопедия кибернетики, в 2-х томах. Главная редакция Украинской Советской Энциклопедии. – Киев, 1974.
5. A Mathematical Introduction to Robotic Manipulation / Richard M.Murray, Zexiang Li, S.Shankar Sastry – CRC Press, 1994. – 456 p.

8 МАТЕРІАЛИ ТА ЇХ ОБРОБКА

Окрім конструктивного рішення, ефективність машини безпосередньо залежить від властивостей матеріалів, з яких виготовляються окремі її частини, а також від якості поверхневого шару її деталей, що формується при їх виготовленні.

Творення машини полягає не тільки в конструктивній розробці, адже конструктивні рішення необхідно надалі втілити у виробництво на етапах технологічної розробки, підготовки виробництва та безпосередньо виготовлення. Конструктори машини повинні працювати осмислено, вибираючи з усього арсеналу конструктивних рішень найбільш доцільні й досяжні при їх подальшій обробці. При цьому вони зобов'язані співпрацювати з технологами і «говорити з ними однією мовою». Творці машин мають досконало володіти основами матеріалознавства та машинобудування, повинні розуміти можливості та вимоги виробництва. Тільки за взаємно погодженої роботи інженерно-технічних колективів можливе ефективне технічне рішення. Адже машини з неправильно вибраними заниженими параметрами несумісні з вимогами конкурентоздатності, а робота, затрачена при цьому на проектування, виявляється даремною. Щоб цього уникнути, необхідно враховувати: необхідність використання ресурсозберігаючих технологій; габаритні розміри, конфігурацію та масу деталі; відповідність властивостей матеріалу головному критерію працездатності; вартість та дефіцитність матеріалу; відповідність властивостей матеріалу технології виготовлення та обробки; досяжність необхідної якості поверхні. Таким чином, отримати економічно вигідне рішення та високі якісні показники виробу можливо лише при поєднанні найбільш раціональної конструкції з ефективними матеріалами та методами обробки деталей.

Матеріал першочергово впливає на конструктивне рішення та експлуатаційні властивості виробів – форму та якість поверхонь; спосіб виготовлення, з'єднання та монтажу; опір стаціонарним та динамічним навантаженням; довговічність роботи; матеріаломісткість виробу; кінцеву ціну продукції. Тому при виборі матеріалу необхідно дотримуватись технічних умов за найменших витрат на матеріал та його обробку. При цьому гарантувати високу якість виробу при експлуатації.

Правильний вибір матеріалу для конкретного виробу – найважливіше завдання конструкторів. Найбільш загальним при виборі матеріалу конструкції є економічний критерій. Якщо б вартість усіх матеріалів була б низькою, то всі намагалися б використовувати якомога якісні матеріали.

Первинні критерії вибору матеріалу обумовлені умовами експлуатації відповідно до їх фізико-механічних властивостей. Після цього відібрані матеріали оцінюються з точки зору економічності і технологічності виготовлення й обслуговування. Адже у більшості випадків конструктор під час проектування може вибрати один матеріал із декількох, що забезпечить потрібні експлуатаційні властивості виробу, але різні за вартістю, трудомісткістю обробки та масою.

При виборі матеріалу необхідно враховувати такі критерії:

- *фізичні* – структура, механічні властивості (міцність та механічна жорсткість при мінімальній масі), термічні властивості (наприклад, лінійне розширення), електричні властивості (наприклад, електропровідність) чи інші, які обумовлені експлуатаційними умовами;
- *технологічні* – відповідність властивостей матеріалу способу первинного отримання заготовки та подальшого виготовлення деталі та її поверхневої обробки, тобто оброблюваність матеріалу (тиском, різанням, литвом, нанесенням покриттів, гартуванням тощо);
- *хімічні та біологічні* – стійкість до агресивних середовищ (атмосферного, впливу кислот, лугів та стійкість до впливу комах і тварин тощо);
- *економічні* – ціна, дефіцитність, вартість обробки, інші накладні витрати (транспортні, складські тощо).

Поряд із вибором матеріалу формування поверхневого шару деталі із заданими властивостями також є дуже важливим завданням, що досягається обробкою матеріалу під час виготовлення виробу.

Поверхневий шар – це зовнішній шар деталі, хімічні й фізичні властивості якого дещо відрізняються від властивостей основного матеріалу деталі та має макро- та мікровідхилення від ідеальної геометричної форми. Від якості й властивостей поверхневого шару виробів (деталей) залежить надійність і тривалість їх роботи.

Тому вибір методів технологічного забезпечення якості поверхневого шару на етапі проектування та досягнення її при подальшому виготовленні є однією з найважливіших задач при формуванні експлуатаційних властивостей виробу, що забезпечують необхідну тривалість його життєвого циклу. Адже при більшості видів навантажень руйнування матеріалу деталей в основному починається з поверхневого шару. Так, понад 70...80% варіацій показників зносостійкості залежить від параметрів шорсткості поверхні, її твердості та залишкових напружень, а втомна довговічність і міцність значною мірою визначається шорсткістю поверхні та фізико-механічними властивостями поверхневого шару.

Показники якості обробки деталей по різному впливають на параметри працездатності машин та її механізмів, зокрема:

- шорсткість поверхні впливає на контактну жорсткість, корозійну стійкість, втомну міцність;
- тип та напрям нерівностей поверхні впливає на зносостійкість деталей;
- стискаючі залишкові напруження в поверхневому шарі деталей і глибина їх поширення визначає початок зародження тріщин у поверхневому шарі та впливає на корозійну стійкість, втомну міцність і зносостійкість;
- ступінь наклепу та глибина деформаційного зміцнення поверхневого шару перешкоджає зародженню та розвитку тріщин.

Проектування технологічного процесу обробки деталей слід виконувати з врахуванням явища технологічної спадковості, так як формування, накопичення та трансформація експлуатаційних властивостей здійснюється на всіх етапах виготовлення деталі. Явище переносу властивостей об'єктів від попередніх операцій до наступних називається технологічним успадкуванням, а збереження цих властивостей технологічною спадковістю. Тому розглядають усі операції обробки не окремо, а комплексно, так як експлуатаційні властивості формуються під впливом усієї сукупності операцій (як чорнових, так і чистових). І, як показує практика, неврахування набутих властивостей від попередніх операцій обробки може призвести до руйнування поверхневого шару на наступних стадіях оброблення або до передчасного руйнування деталі при експлуатації.

8.1 КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

*чорні метали та їх сплави; кольорові метали та їх сплави;
неметалеві та композитні матеріали*

Чорні метали та їх сплави

Найбільш розповсюдженими (85...90%) в машинобудуванні є чорні метали – чавун і сталь. Чавун як машинобудівний матеріал застосовують, як правило, для виготовлення корпусних деталей. Конструкційні сталі – для виготовлення більшості деталей машинобудівної техніки.

Чавун – залізовуглецевий сплав із вмістом вуглецю 2,14...6,67% та неминуче невеликою кількістю інших елементів: кремнію до 4,3%, марганцю до 2%, фосфору до 1,2% та сірки до 0,07%).

Кремній – найважливіший після вуглецю елемент в чавуні, він збільшує його текучість в рідкому стані, покращує ливарні властивості та робить чавун більш м'яким. Марганець підвищує міцність чавуну. Фосфор знижує механічні властивості чавуну та викликає

утворення тріщин при охолодженні відливок. Сірка в чавуні – шкідлива домішка, що погіршує механічні й ливарні властивості чавуну. Вона сильніше від марганцю протидіє графітизації і сприяє виділенню цементиту. Крім цього, сірка знижує рідкоплинність чавуну, збільшує усадку, підвищує схильність до утворення газових бульбашок і тріщин.

Чавун – крихкий матеріал. Він не придатний для обробки тиском і погано чинить опір ударним і динамічним навантаженням, але володіє добрими ливарними властивостями. За хімічним складом і структурою чавун поділяють на такі види: сірий чавун (*СЧ*), в якому вуглець частково знаходиться у вигляді графіту; білий чавун, у якому вуглець знаходиться у вигляді цементиту; ковкий чавун, який дістають із білого відпалюванням, у результаті чого в чавуні замість вільного цементиту утворюється графіт. Для відповідальних чавунних деталей застосовують модифіковані й високоміцні чавуни.

Сірий чавун – основний ливарний машинобудівний матеріал, оскільки він має високі ливарні та достатні механічні властивості, із металевих виливок є найдешевшим. Стандарт передбачає такі марки сірого чавуну: *СЧ 10*, *СЧ 15*, *СЧ 18*, *СЧ 20*, *СЧ 25* і так далі. Тут і далі двозначне число у позначенні марки чавуну помножене на *10*, вказує мінімальну межу міцності при розтягу в *МПа*. Ці чавуни використовують для виготовлення корпусів, станин, кожухів, шківів, гальмівних барабанів тощо.

Білий чавун, який загартовується при литті, має вуглець у пов'язаному стані. Він характеризується високою твердістю та крихкістю (важко піддається обробці різанням), високою стійкістю проти спрацювання, а також жаро- і корозійною стійкістю. Білий чавун застосовують для виготовлення гальмівних колодок, колосників, валків прокатних станів тощо.

Ковкий чавун дістають довгочасним нагріванням при високих температурах виливок із білого чавуну. Ковкий чавун має достатню міцність і підвищену пластичність, чинить опір незначним ударним навантаженням. Назва чавуну умовна, оскільки він не піддається куванню. В машинобудуванні деталі машин виготовляють із таких марок ковкого чавуну: *КЧ 30-6*; *КЧ 35-10*; *КЧ 45-7*; *КЧ 50-5*; *КЧ 55-4* і так далі. Друге число означає відносне видовження у відсотках.

Модифікований чавун відрізняється від звичайного сірого вмістом графітизуючих добавок (феросиліцію, силікокальцію або силікоалюмінію), які підвищують його ливарні та механічні властивості.

Високоміцний чавун за рахунок добавки магнію має, порівняно зі звичайним сірим, більш високі механічні властивості, які не

поступаються властивостям сталевому литва. Марки високоміцного чавуну: *ВЧ 45; ВЧ 50; ВЧ 60* і так далі.

Антифрикційні чавуни використовують для виготовлення вкладишів у підшипникових вузлах тертя: сірий (*АСЧ-1; АСЧ-2; АСЧ-3*), високоміцний (*АВЧ-1; АВЧ-2*) й ковкий (*АКЧ-1; АКЧ-2*). Такі чавуни мають високі антифрикційні властивості за рахунок наявності в їхній структурі вільного графіту як мастильного матеріалу.

Сталь – залізвуглецевий сплав із вмістом вуглецю до 2,14% та домішками.

Сталь може мати у своєму складі природні домішки до 1% (сірку, фосфор, марганець, кремній). Для підвищення якісних показників або для надання спеціальних властивостей, у сталі додатково додають легуючі елементи (хром, нікель, молібден, титан та інші).

За хімічним складом сталі класифікують на: вуглецеві (маловуглецеві (до 0,25% С); середньовуглецеві (0,3...0,5% С); високовуглецеві (0,6...0,85% С)) та леговані (якщо до їхнього складу введено легуючі елементи).

Конструкційними називають сталі, призначені для виготовлення деталей машин (машинобудівні сталі), конструкцій та споруд (будівельні сталі).

Вуглецеві конструкційні сталі поділяють на дві категорії:

Перша. Сталь вуглецева звичайної якості (*ДСТУ 2651:2005 (ГОСТ 380-2005)*), яка буває групи *А* (постачання за механічними властивостями), групи *Б* (постачання за хімічним складом) і групи *В* (постачання за механічними властивостями і за додатковими вимогами до хімічного складу).

Сталі відливають у великі злитки, внаслідок чого в них розвинена сегрегація і вони містять порівняно велику кількість неметалічних включень. Ці сталі маркують номерами в порядку зростання вмісту вуглецю і підвищення характеристик міцності – *Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6*. Це дешеві та найбільш розповсюджені сталі, особливо *Ст3* і *Ст4*. З підвищенням умовного номера марки сталі зростає межа міцності й текучості, а також знижується пластичність. З підвищенням вмісту в сталі вуглецю зварюваність погіршується, тому сталі *Ст5* і *Ст6* (з більш високим вмістом вуглецю) застосовують для елементів будівельних конструкцій, що не потребують зварювання. Зі сталей звичайної якості виготовляють гарячекатаний рядовий прокат: двотаври, швелери, кутики, прутки, а також листи, труби та поковки. Їх широко використовують для виготовлення різного типу металоконструкцій – ферм і рам, а також таких деталей, як валики, пальці, тяги, болти, гайки тощо.

Друга. Сталь вуглецева якісна (ДСТУ 7809:2015 (ГОСТ 1050-2013)), яка буває групи I з нормальним вмістом марганцю і групи II з підвищеним вмістом марганцю. Ці сталі в більшості випадків використовують у термообробленому стані. Їх маркують двозначним числом, яке відповідає середньому вмісту вуглецю в сотих долях процента, наприклад, сталі 10, 15, 20, 25, а також сталі 20Г, 30Г, 40Г, 50Г (буква Г позначає підвищений вміст марганцю). Якісну сталь постачають із гарантованими хімічним складом і механічними властивостями. Сталь із підвищеним вмістом марганцю характеризується кращими показниками міцності й стійкості спрацюванню, але має меншу в'язкість. Якісні вуглецеві сталі застосовують для виготовлення валів і осей, важелів, траверс, зубчастих коліс, маховиків та інших деталей.

Сталі без термічної обробки використовують для мало навантажених деталей, відповідальних зварних конструкцій, а також для деталей машин, що зміцнюють цементациєю.

Середньовуглецеві сталі 30, 35, ... , 50 використовують після нормалізації, поліпшення та поверхневого гартування для найрізноманітніших деталей в усіх галузях промисловості. Ці сталі в порівнянні з низьковуглецевими мають більш високу міцність при меншій пластичності. У зв'язку з цим їх слід застосовувати для виготовлення деталей, що не вимагають наскрізного прожарювання при термообробці.

Сталі 60, 65, ... , 85 із високим вмістом вуглецю (високовуглецеві) мають високу міцність, зносостійкість і пружні властивості. З цих сталей виготовляють пружини й амортизатори, шпінделі, замкові шайби, прокатні валки тощо.

У тракторному й сільськогосподарському машинобудуванні, в автомобільній промисловості, важкому й транспортному машинобудуванні, нафтогазовій промисловості; дещо менше у верстатобудуванні, інструментальній та інших видах промисловості широко застосовують леговані сталі.

Леговані конструкційні сталі поділяють на якісні і високоякісні. Залежно від основних легуючих елементів леговані сталі поділяють на групи: хромисті (30Х, 30ХРА, 45Х); хромонікелеві (40ХН, 50ХН); хромомарганцевисті (25ХГТ, 40ХГТР); хромомолібденові (30ХМА, 35ХМ); хромонікельмолібденові (20ХН2М, 30ХН2МА); хромомарганцевонікелеві (20ХГНР, 38ХГН) та інші. У марках сталей букви означають: Х – хром; Н – нікель; В – вольфрам; Ф – ванадій; Г – марганець; С – кремній; Ю – алюміній; М – молібден; Т – титан; К – кобальт; Р – фосфор. Двозначне число на початку позначення марки вказує вміст вуглецю в сотих частках процента, а наступні цифри біля букв

– вміст позначеного цими буквами елемента в процентах (якщо він менше або близько 1%, то цифра не ставиться). Для високоякісної сталі в кінці позначення марки ставлять букву *A*.

Сталі, в яких сумарний вміст легуючих елементів не перевищує 2,5%, відносять до низьколегованих; сталі, що містять 2,5...10% – до легованих; більше 10% – до високолегованих (вміст заліза більше 45%).

Слід відмітити, що у світі використовується декілька систем позначення металів та сплавів, які пов'язані з існуючими організаціями зі стандартизації. Наприклад це такі системи позначень, як:

- *AISI* (*American Iron and Steel Institute* – Американський інститут сталі та чавуну). Тут для вуглецевих та легованих сталей позначення складається із чотирьох цифр. Дві перші означають номер групи сталі згідно системи *AISI*, дві наступні – середній вміст вуглецю в сталі помножений на сто. Поміж цих груп цифр можуть зустрічатись букви, які означають вміст легованих елементів. Позначення нержавіючих сталей включає в себе три цифри після яких одну, дві чи більше букв. Перша цифра означає клас сталі, дві наступні – порядковий номер сталі в групі. А наступні букви характеризують вміст елементів (вуглецю, азоту, сірки, фосфору, селену, кремнію, міді тощо).
- *ASTM* (*American Society for Testing and Materials* – Американське товариство випробування і матеріалів). Позначення сталі включає в себе букву *A*, що означає чорний метал, наступним записано номер нормативного документу *ASTM*, після чого позначення марки сталі. Наприклад *A 516-90 Grade 70*. Тут *A* означає, що мова йде про чорний метал; *516* – номер стандарту *ASTM* та *90* – рік його випуску; *Grade 70* – марка сталі.

Широко відомі й інші Американські та Європейські системи маркування сталей.

Кольорові метали та їх сплави

Кольорові метали – технічна назва всіх металів і їх сплавів, окрім заліза і його сплавів, які розглянуті раніше. На багатьох інших мовах кольорові метали називають терміном «незалізний метал».

У науці прийнята умовна класифікація кольорових металів, відповідно до якої вони розділені за різними ознаками, характерними для тієї чи іншої групи:

- важкі кольорові метали (мідь, свинець, цинк, олово, нікель);
- легкі метали (алюміній, титан, магній);
- благородні метали (в т. ч. платинові метали);
- тугоплавкі метали;
- розсіяні метали;

- рідкоземельні метали;
- радіоактивні метали.

Більшість металів із цих груп широко не використовують в якості машинобудівних матеріалів, але в сучасній техніці застосування кольорових металів і сплавів на їх основі для виготовлення деталей безперервно зростає. У зв'язку із стрімким розвитком авіабудування, ракетної й атомної техніки, хімічної промисловості в якості конструкційних матеріалів застосовують такі метали (і сплави на їх основі), як титан, цирконій, нікель, молибден і навіть ніобій, гафній та інші. Сфера застосування окремих кольорових металів і сплавів на їх основі досить різноманітна.

Мідні сплави – сплави на мідній основі, у яких легуючими елементами можуть бути олово, цинк, свинець, нікель, алюміній, марганець, залізо, срібло, золото, фосфор, кремній тощо. Деталі з мідних сплавів можуть бути виготовлені литтям або обробкою тиском. Ці матеріали добре піддаються обробці різанням. Вони відрізняються високою антикорозійною стійкістю й високими антифрикційними властивостями, які визначають їх основну сферу використання (запірна і регулююча арматура, яка працює в агресивному середовищі, та деталі вузлів тертя). Мідні сплави широко використовують у хімічному машинобудуванні, для виготовлення трубопроводів найрізноманітнішого призначення, ємностей, різних посудин криогенної техніки і тому подібне.

Особливо широке застосування у машинобудуванні набули такі мідні сплави, як латунь та бронза.

Латунь – сплав міді з цинком, подвійний або складний з добавками легуючих елементів, таких як алюміній, кремній, залізо, марганець, олово, свинець.

Бронза – сплав міді з оловом або іншими металами (алюмінієм, свинцем та іншими). Олов'яні бронзи – високоякісні, але найбільш дорогі й дефіцитні. Дешевшими й менш дефіцитними є безолов'яні бронзи на основі алюмінію й свинцю, які найбільше використовують для виготовлення різних деталей.

Легкі сплави мають алюмінієву, магнієву або титанову основу з добавками міді, марганцю, кремнію, заліза, нікелю та інших елементів. Ці сплави широко використовують в авіації, а також у загальному машинобудуванні. Однією з переваг цих сплавів є мала об'ємна маса (не більше ніж 3500 кг/м^3) при достатньо високій міцності.

Із алюмінієвих ливарних сплавів розповсюдженими є силуміни (*АЛ2, АЛ3, АЛ4* та інші), до складу яких входить до 20% кремнію. Алюмінієві деформівні сплави – дюралюміни (наприклад, *АД31, АК6, АК8*) застосовують для виготовлення заготовок деталей

обробкою тиском (деформуванням). До складу цих сплавів входять, крім алюмінію, такі елементи, як мідь, магній, марганець.

У зв'язку з порівняно високою міцністю при малій густині, високою корозійною стійкістю і високими механічними властивостями при низьких температурах алюміній і його сплави використовують для виготовлення різних ємностей у хімічній і харчовій промисловості, широко застосовують у літаках, ракетах, суднах та інших галузях промисловості.

Сплави на основі магнію, завдяки їх пластичності й ливарним властивостям, можна використовувати для заготовок деталей, які вимагають мінімальної механічної обробки, що значно знижує трудомісткість їх виготовлення. Магнієві сплави швидко піддаються корозії в контакті з деякими іншими металами.

Деякі кольорові метали (мідь, магній, алюміній) мають порівняно високу теплопровідність і питому теплоємність, що сприяє швидкому охолодженню місця зварювання. Це вимагає застосування більш потужних джерел теплоти при зварюванні, а в деяких випадках і попереднього підігріву деталі. Для них характерне досить різке зниження механічних властивостей при нагріванні, в результаті чого в цьому інтервалі температур метал легко руйнується від ударів або навіть зварювальна ванна провалюється під дією власної ваги (алюміній, бронза).

Також останнім часом у машинобудуванні використовують легкі сплави титану. Це пов'язане з їхніми високими показниками міцності. Ливарні титанові сплави мають значну корозійну стійкість і жароміцність (наприклад, сплав *BT9L* використовують для навантажених деталей, які працюють при температурах до 500°C).

Усі кольорові метали при нагріванні (в значно більших обсягах, ніж чорні метали) розчиняють гази навколишньої атмосфери й хімічно взаємодіють з більшістю газів, крім інертних. Особливо активні тугоплавкі метали: титан, цирконій, ніобій, тантал, молибден.

Неметалеві матеріали

Неметалеві матеріали – це органічні, і неорганічні полімерні матеріали: різні види пластичних мас, композиційні матеріали на неметалевої основі, каучуки і гуми, клеї, герметики, лакофарбові покриття, а також графіт, скло, кераміка. В якості конструкційних матеріалів вони служать важливим доповненням до металів, в деяких випадках з успіхом замінюють їх, а іноді самі є незамінними. Перевагою неметалічних матеріалів є такі їх властивості, як достатня міцність, жорсткість і еластичність при малій щільності, прозорість, хімічна стійкість, діелектричні властивості, роблять ці матеріали часто незамінними. Також

слід зазначити їх технологічність і ефективність при використанні. Трудомісткість при виготовленні виробів з неметалічних матеріалів в 5...6 разів нижче, вони в 4...5 разів дешевше в порівнянні з металевими. У зв'язку з цим постійно зростає використання неметалічних матеріалів в машинобудуванні автомобілебудуванні, авіаційної, харчової, холодильної та криогенної техніки і ін.

Основою неметалічних матеріалів є полімери, головним чином синтетичні.

Полімерами називають високомолекулярні хімічні сполуки, що складаються з численних елементарних ланок (мономерів), що представляють собою однакову групу атомів і пов'язаних між собою хімічними зв'язками.

Доцільність використання полімерів у машинобудуванні визначається, перш за все, можливістю здешевлення продукції. При цьому поліпшуються й найважливіші техніко-економічні параметри машин: зменшується маса, підвищуються довговічність, надійність та інші показники. Завдяки впровадженню полімерних матеріалів вивільняються ресурси металу, а завдяки зменшенню відходів при переробці суттєво підвищується коефіцієнт використання матеріалів (середні значення коефіцієнта використання полімерів приблизно в 2 рази вищі, ніж для металів).

Пластмаси – найбільш вживані для виготовлення неметалевих виробів. Вони є високомолекулярними органічними матеріалами (полімерами) на основі синтетичних смол. Для надання пластмасам відповідних властивостей до них додають різні наповнювачі, пластифікатори, затверджувачі, барвники.

Фізико-механічні властивості пластмас дуже різноманітні. Вони мають добрі тепло- і електроізоляційні властивості, стійкі проти впливу агресивних середовищ, а задовільні характеристики міцності дозволяють використовувати пластмаси для виготовлення деяких деталей машин та приладів. Одні пластмаси використовують як фрикційні матеріали, інші – як антифрикційні. Із пластмас можна виготовляти деталі литтям, холодним або гарячим пресуванням, різного роду формуванням, зварюванням і різанням. Майже не обмежені сировинні ресурси для виробництва пластмас. Через відносно низьку вартість вони за короткий строк поширилися як конструкційні матеріали. Однак пластмаси мають і суттєві недоліки: порівняно низьку теплостійкість (100...150°C), здатність до старіння та вологопоглинання, що погіршує їхні властивості.

Залежно від природи полімерів пластмаси поділяють на терморезистивні (не допускають повторного формування), термопластичні (при нагріванні розм'якшуються і допускають повторне формування) та

вискоеластичні (можуть розширюватися і стискатися, суттєво змінюючи свою форму в результаті прикладання зусиль і здатні під дією внутрішніх пружних сил повертатись до попередньої форми).

Термопластичні пластмаси – це пластмаси на основі термопластичних полімерів, що під час нагріву розм'якшуються, переходять у в'язкотекучий стан, а при охолодженні тверднуть, і цей процес повторюється при повторному нагріванні. Тобто такі пластмаси допускають повторну переробку. Вони характеризуються невеликою усадкою (1...3%), зручні в переробці, не складні у виробництві тощо. Зазвичай їхня робоча температура не перевищує 90°C. До них відносять амілопласти (поліаміди), фторопласт-4 (тефлон), вініпласт, поліакрилати (органічне скло) та багато інших.

Амілопласти (різновиди – капрон, нейлон) мають достатню міцність і стійкість проти спрацьовування, низький коефіцієнт тертя, здатність надійно скріплюватись із металом. Із поліамідів виготовляють зубчасті колеса, шківів, паси.

Фторопласт-4 за хімічною стійкістю переважає всі відомі матеріали, включаючи золото і платину. Оскільки фторопласт-4 має низький коефіцієнт тертя, його застосовують для виготовлення вкладишів підшипників ковзання, які працюють в агресивних середовищах.

З *вініпласту* виготовляють труби для подачі агресивних газів та рідин, захисні покриття для металевих резервуарів.

Поліакрилати (органічне скло) – прозорі пластмаси на основі поліметилметакрилату (плексигласу), полікарбонатів, полівінілхлориду, полістиролу та інших полімерів. До їхніх переваг над неорганічним склом належать мала густина, вища міцність, добра технологічність: вони легко формуються у виробі, обробляються різанням, добре зварюються, склеюються. Недоліком органічного скла є низька поверхнева твердість. Частіше застосовується поліметилметакрилат, який характеризується доброю оптичною прозорістю (92%), стійкий до дії вуглеводнів, мастильних матеріалів, розчинів кислот та лугів. Застосовується в автомобіле-, судно- та літакобудуванні, медицині для виготовлення багатошарового скла, оптичних лінз, світлотехнічних деталей тощо.

Термореактивні пластмаси – полімерні матеріали, які при нагріванні розм'якшуються, але при певній температурі і під дією затвердівачів, каталізаторів чи ініціаторів хімічних реакцій зазнають полімеризації, внаслідок якої переходять у твердий стан і повторна переробка таких пластмас неможлива. Теплостійкість їхня вища і досягає 200...370°C.

Термореактивні полімери порівняно рідко використовуються у чистому вигляді. Зазвичай, у них вводять наповнювачі (дисперсні,

волокнисті суцільні), розчинники, згущувачі, стабілізатори, барвники, змазки, завдяки чому отримують складні багатокомпонентні системи – реактопласти. Полімерну основу реактопласта (термореактивний полімер) називають «смола» або «сполучник».

Термореактивні пластмаси переробляють на вироби переважно методом пресування. На початковій стадії отримання матеріалів та виробів термореактивний сполучник має малу в'язкість, що полегшує процес формування виробів. Різниця у хімічній структурі сполучників, широкий спектр затверджувачів, ініціаторів затвердіння, модифікаторів, наповнювачів дозволяють отримувати конструкційні матеріали з великим діапазоном механічних, електротехнічних, триботехнічних та інших експлуатаційних характеристик.

До групи термореактивних полімерів належать прес-порошки, волокніти і скловолокніти, а також шаруваті пластмаси.

Прес-порошки являють собою композиційну пластмасу, отриману поєднанням термореактивної смоли з порошкоподібним наповнювачем. Фізико-механічні властивості, теплостійкість їх досить низькі. Прес-порошки володіють підвищеною крихкістю, тому вони в основному застосовуються для виробництва ненавантажених технічних деталей і виробів побутового призначення.

Волокніти являють собою композицію термореактивної смоли з волокнистими наповнювачами (бавовняні очоси), яка володіє гарною міцністю при ударі, але його статична механічна міцність невисока. Вироби з волокніту переробляють тільки гарячим пресуванням. Вихідна маса дуже груба, жорстка, тому з неї можна формувати вироби лише простої конфігурації. Обробка різанням не бажана, оскільки супроводжується вириванням бавовняних волокон, що порушує якість поверхні і послаблює деталь (виріб). Волокніти застосовують для виготовлення виробів загального технічного призначення з високим опором до ударних навантажень.

Скловолокніт (наповнювач – скляне волокно) має найбільш високі механічні властивості, що залежать від кількості введенного в композицію скловолокна і від його орієнтації в деталі. Скловолокніти корозійностійкі до багатьох агресивних середовищ, мають високими електроізоляційними властивостями, водонепроникні, можуть тривало працювати при високих температурах (до 350°C).

Шаруваті пластмаси являють собою поєднання термореактивної смоли з листовими наповнювачами, в якості яких застосовують: бавовняні або скляні тканини, папір, деревний шпон. У відповідності з обраним наповнювачем всі шаруваті пластики поділяються на текстоліти, склотекстоліти, асботекстоліти, гетінакси і деревно-шаруваті пластики.

Текстоліт найбільш поширений, тому що він має підвищену міцність, стійкість проти спрацьовування та високі антифрикційні й діелектричні властивості. Його використовують для виготовлення зубчастих коліс, вкладишів до підшипників ковзання, електротехнічних деталей тощо. Таке ж використання мають і шаруваті пластики.

Склотекстоліти (наповнювач – скляна тканина) являють собою шарувату високоміцну пластмасу, застосовувану в загальному і спеціальному машинобудуванні, електро- і радіотехніці для виготовлення деталей, що несуть значні робочі навантаження. Ці пластмаси мають високу міцність, пружність, теплостійкість і високі діелектричні властивості.

Асботекстоліт має високі фрикційні властивості, достатню теплостійкість і механічну міцність. Цей матеріал використовують для деталей муфт і гальм.

Гетінакси (наповнювач – папір) володіє високими діелектричними властивостями і задовільною механічною міцністю. Випускається у вигляді листів, плит, труб і різних пресованих деталей. Він широко застосовується як електроізоляційний матеріал.

Деревно-шаруваті пластики (наповнювач – дерев'яний шпон) являють собою матеріал, що складається з тонких листів лущеної деревини (шпону), просочених синтетичною смолою і склеєних між собою при високій температурі і тиску. В залежності від товщини та призначення ці пластики випускають у вигляді плит і листів. Деревно-шаруваті пластики володіють високою міцністю, низьким коефіцієнтом тертя і гарними діелектричними властивостями. Вони з успіхом застосовуються в машинобудуванні як конструкційний матеріал замість металів. З деревно-шаруватих пластиків виготовляють зубчасті і черв'ячні колеса, вкладиші підшипників та інші силові деталі.

Спечені матеріали дістають пресуванням композицій металевих та неметалевих порошків і подальшим спіканням. Ці матеріали мають особливі властивості, яких немає у інших матеріалів – пористість, високі фрикційні чи антифрикційні властивості, достатню твердість тощо. Використовують їх для виготовлення вкладишів підшипників, фільтрів, гальмових накладок, пластинок для різального інструменту.

Композитами (композитними матеріалами) називають багатокomпонентні матеріали, які складаються, як правило, з пластичної армованої основи (матриці), і мають високу міцність при малій питомій вазі, жорсткість, корозійну стійкість та інші позитивні експлуатаційні властивості. За структурою композити поділяються на кілька типів: волокнисті композити; дисперсно-зміцнені матеріали; шаруваті матеріали; дискретно неоднорідні; нанокomпозити. У більшості композитів (за винятком шаруватих) компоненти можна розділити на матрицю

(або основу) і включені в неї елементи армування (або наповнювачі). У композитах конструкційного призначення елементи армування зазвичай забезпечують необхідні механічні характеристики матеріалу, а матриця забезпечує спільну роботу цих елементів і захист їх від механічних пошкоджень і агресивного хімічного середовища.

Композити іноді класифікують за матеріалом матриці: композити з полімерною матрицею; композити з керамічною матрицею; композити з металевою матрицею; композити оксид-оксид.

Найширшого застосування в техніці набули композити з полімерною матрицею (полімерні композити або полімери).

Полімерні композити – це конструкційні матеріали, в складі яких присутній полімер або в'язучий на його основі матеріал. Полімерні композити мають низьку щільність, високі питому міцність і жорсткість, хімічну й радіаційну стійкість, стабільні електричні властивості в широкому діапазоні температур.

Фізичні та механічні властивості, а також хімічна стійкість полімерних композиційних матеріалів залежать від хімічної будови, фізичного стану й структури. Міцність, тепло-, термо- і морозостійкість полімерів визначають температурні межі експлуатації. Верхню межу характеризує втрата теплостійкості або термостійкості, а нижню – крихкість або морозостійкість. Теплостійкість у свою чергу залежить від прикладеного навантаження і тривалості його впливу. Як правило, надійно експлуатуються полімерні матеріали (без розм'якшення і крихкого руйнування) у температурному інтервалі між температурою склування й температурою крихкості.

Поєднання різнорідних речовин (матеріалів) у композитах різної структурної будови призводить до створення нового конструкційного матеріалу, властивості якого кількісно і якісно відрізняються від властивостей кожного з його складових. Багато композитів перевершує традиційні матеріали і сплави за своїми механічними властивостями і в той же час вони легші. Використання композитів зазвичай дозволяє зменшити масу конструкції при збереженні або поліпшенні її механічних характеристик. Технологічні вимоги визначають метод виготовлення виробів із композитних матеріалів; можливість виконання конструкцій заданих габаритів і форми; параметри технологічних процесів; способи вхідного і технологічного контролю; отримання вихідного матеріалу; тип конструкційних елементів (профілі, труби, листи, об'ємні заготовки) та способи їх переробки у виробі (склеюванням, сплавом, спіканням, зварюванням, механічною обробкою і так далі).

Сукупність властивостей композиційних матеріалів як конструкційних дозволяє їх широке застосування в численних деталях і вузлах транспортних засобів. Машинобудівна промисловість є також досить

перспективною сферою використання композиційних матеріалів завдяки її масштабності, а також традиційної сприйнятливості до нових матеріалів, конструкцій та технологічних процесів.

Питома міцність будь-яких матеріалів, що використовуються в машинах та механізмах, завжди є важливою характеристикою в результаті її прямого впливу на енергетичні витрати, експлуатаційні характеристики й комерцію. На конструкції транспортних засобів існують обмеження щодо габаритів, зовнішнього вигляду, а вимоги відповідних законоположень дають підставу вважати використання композиційних матеріалів у цій галузі особливо перспективним.

Виготовлення та реалізація більшості виробів пов'язані з потужною конкуренцією, тому вибір композиційних матеріалів, призначених для деталей виробів, значною мірою залежить від їх вартості. У серійному виробництві для успішної конкуренції композитних матеріалів з традиційними вони повинні мати гарну відтворюваність, доступну технологічність та стабільні розрахункові властивості.

Поряд з такими перевагами як високі показники питомої міцності (допустимі напруження до 3500 МПа), жорсткості (модуль пружності 130...240 ГПа), зносостійкості, втомної міцності при малій вазі композитні матеріали мають досить велику кількість недоліків.

До недоліків, які можуть стримувати застосування тих чи інших композитних матеріалів, можна віднести: високу вартість, зумовлену наукоємним виробництвом, складним технологічним процесом, необхідністю застосування спеціального дорогого устаткування й сировини; розрізненість властивостей виробу зазвичай становить 10% і більше, що вимагає завищення коефіцієнтів запасу міцності; низьку ударну в'язкість, що також є причиною необхідності підвищення запасу міцності; розшарування (утворення тріщин у багатошарових композитах на межі розділу шарів) під дією зовнішніх навантажень; можливу гігроскопічність; можливість виділення токсичної пари. При цьому вони можуть мати низьку експлуатаційну технологічність, низьку ремонтпридатність і високу вартість експлуатації.

Незважаючи на всі докази на користь застосування композиційних матеріалів у машинобудуванні, останнє слово залишається за інженерами, ставлення яких до матеріалів формується в процесі накопичення практичного досвіду. Виробництво деталей з традиційних металевих чи неметалевих матеріалів здійснюється в умовах жорстокої конкуренції. У цих умовах можливі випадки, коли рекомендації для проектування та виробництва деталей можуть виявитися недостатньо однозначними у зв'язку з відсутністю глибокого досвіду застосування новітніх матеріалів, подібного накопиченому при конструюванні металевих виробів, виробництво яких за тривалий час склало сотні

мільйонів одиниць. Це вимагає обережного підходу до проблеми вибору матеріалів при творенні машин. Проте наявний уже досвід дослідження й застосування конструкційних композитів дозволяє сподіватися на подальше ефективне використання їх у машинобудуванні.

До **інших неметалевих матеріалів**, що використовують для виготовлення деталей машин, також можна віднести гуму, шкіру, графіт, деревину та інші.

Гума – продукт спеціальної обробки (вулканізації) суміші каучуку і сірки з різними добавками. Як технічний матеріал вона відрізняється від інших матеріалів високими еластичними властивостями, які притаманні каучуку – головному вихідному компоненту гуми. Вона здатна до дуже великих деформацій (відносне подовження досягає 1000%), які майже повністю оборотні. При нормальній температурі гума знаходиться в високоеластичному стані, та її еластичні властивості зберігаються в широкому діапазоні температур.

Модуль пружності лежить в межах $1 \dots 10$ МПа. Він в тисячі і десятки тисяч разів менше, ніж для інших матеріалів. Особливістю гуми є її мала стисливість (для інженерних розрахунків гуму вважають нестисливою); коефіцієнт Пуассона $0,4 \dots 0,5$, тоді як для металу ця величина складає $0,25 \dots 0,30$. Іншою особливістю гуми як технічного матеріалу є релаксаційний характер деформації. При нормальній температурі час релаксації може становити 10^{-4} с і більше. При роботі гуми в умовах багаторазових навантажень частина енергії, яка сприймається виробом, втрачається на внутрішнє тертя (в самому каучуку і між молекулами каучуку і частинками добавок); це тертя перетворюється в теплоту і є причиною гістерезисних втрат. При експлуатації товстостінних деталей (наприклад, шин) внаслідок низької теплопровідності матеріалу наростання температури в масі гуми знижує її працездатність.

Крім зазначених особливостей для гумових матеріалів характерні висока стійкість до стирання, газо- і водонепроникність, хімічна стійкість, електроізолюючі властивості і невелика щільність.

Її використовують для виготовлення амортизаторів, пружних елементів муфт, приводних пасів, ущільнень тощо.

Шкіру через високу міцність та еластичність використовують для виготовлення приводних пасів, манжет, прокладок.

Графіт – для виготовлення електродів, вогнетривких виробів, вкладишів підшипників ковзання, а також як мастило для поверхонь тертя ковзання в з'єднаннях деталей машин.

Деревина – анізотропний волокнистий матеріал, отриманий із очищеного від кори і гілок стовбура дерева. Деревина достатньо легко обробляється і в той самий час може міняти міцність та форму внаслідок зміни вологості, яка у свою чергу впливає на довговічність конструкцій

в цілому. На вибір деревини як конструкційного матеріалу значною мірою впливає порода дерева, з якого було виготовлено пиломатеріали. Крім того, деревина кожної з порід дерев має свої особливі властивості: твердість, здатність до обробки інструментом, запах, колір, блиск, текстуру тощо. Наявність різноманітних дефектів (сучки, тріщини, гниль) зменшує міцність та довговічність деревини.

На даний час, відсоток використання неметалевих матеріалів у машинобудуванні постійно зростає. Більшість виробництв різних галузей повністю залежить від цих універсальних матеріалів, що мають достатньо широкий спектр властивостей, які допомагають покращити властивості виробів, знизити вартість їх виготовлення та експлуатації.

8.2 МЕТОДИ ФОРМОУТВОРЕННЯ ДЕТАЛЕЙ

*лиття металевих виробів; обробка тиском; обробка різанням;
фізико-хімічна обробка; адитивні технології*

Одним із основних показників технологічності виробу є трудомісткість конструкції. Тому її зниження – одне з найважливіших завдань розробників. Зниження трудомісткості досягається правильним вибором сучасних прогресивних методів отримання заготовок та формоутворення деталі, раціональним вибором квалітетів точності та показників шорсткості поверхонь, зменшенням кількості операцій обробки.

Коротко опишемо основні методи формоутворення деталей, якими є лиття, обробка тиском, різанням та фізико-хімічна обробка матеріалів.

Лиття металевих виробів

Лиття – технологічний процес отримання виробів у ливарному виробництві, заснований на заповненні рідким металом форми, порожнина якої за своїми контурами і розмірами відповідає розмірам і формі майбутньої деталі (випливи).

Випливи, як правило, є заготовками, які потім піддаються обробці для отримання необхідної геометричної форми та розмірів деталі (виробу). Поява прогресивних форм лиття дозволяє отримувати готові вироби без подальшої обробки.

Роль ливарного виробництва в сучасному машинобудуванні величезна, так як випливи складають приблизно 60% від загальної кількості виготовлених різними методами заготовок деталей машин. Це пояснюється тим, що методом лиття можна отримати відливи найрізноманітнішої конфігурації, різні за масою та розмірами і, що дуже важливо, з невеликими припусками на механічну обробку. У той же час литі заготовки відрізняються зниженою

щільністю, неоднорідністю хімічного складу, крупно-кристалічною будовою тощо. Виправляють ці недоліки термічною обробкою.

Виливки будь-якої складності можуть бути виготовлені з різних металів: чавуну, сталі, мідних, алюмінієвих, магнієвих сплавів та інших.

За складністю геометричної форми виливки ділять умовно на п'ять груп, що характеризуються такими показниками:

- геометрично простими контурами, що не мають внутрішніх порожнин (кришки, пробки кранів, вилки та інше) – *перша група*;
- відкритими виїмками прямокутної і циліндричної форми (кронштейни простої форми, втулки, під'ятники і так далі) – *друга група*;
- відкритою коробчастою формою зі складним контуром периметра (корпуси й кришки редукторів і тому подібні) – *третья група*;
- повністю або частково закритими коробчастими перетинами прямокутної або циліндричної форми (корпуси двигунів, компресорів і таке інше) – *четверта група*;
- особливо складною коробчастою, циліндричною або фігурною формою – *п'ята група*.

У сучасному машинобудуванні широко застосовуються передові способи лиття, при яких одержують заготовки, що мають форми та розміри готової деталі і майже не потребують подальшої механічної обробки.

Розрізняють такі види спеціального лиття: кокільне, лиття під тиском, відцентрове та точне.

Кокільне лиття – це заливання розплавленого металу в сталінні або чавунні форми. Для відливки чавуну та сталі застосовують піщані стрижні, а для відливки алюмінієвих та магнієвих сплавів – металеві стрижні. При кокільному литті чавуну та сплавів кольорових металів досягаються доволі точні розміри виливок, поліпшуються механічні властивості та структура металу. Але для відливання сталі кокільне лиття невигідне, бо коли виливка має складну форму, то виготовлення металевої форми дуже дороге, а кількість відливок, яку витримує форма, невелика (не більше 700 заливок), у той час як при відливках з чавуну такі форми витримують до 5000 заливок. Форми вкривають всередині тонким шаром вогнетривкового облицювання, щоб запобігти відбілюванню чавуну.

Лиття під тиском – це коли розплавлений метал заливають у форми під тиском поршня або стисненого повітря. В основному застосовують для фасонних та точних відливок.

Лиття під тиском нині широко застосовують при масовому виготовленні деталей із сплавів кольорових металів, які мають малу вагу. Таким способом можна одержувати деталі в готовому вигляді (з отворами, різью, приливами) без подальшої механічної обробки.

Лиття під тиском провадять у поршневих та компресорних машинах, що мають холодну або гарячу камеру. У поршневих машинах з гарячою камерою метал під тиском поршня через мундштук подають у тигель, підігрітий пальником. Тиск коливається в межах від 2 до 7 МПа. Таке лиття застосовують при відливанні деталей з олов'яних, свинцевих та цинкових сплавів, що мають невелику температуру плавлення. У компресорних машинах тиск на метал здійснюється за допомогою стисненого повітря. Ці машини застосовують для лиття алюмінієвих сплавів.

Відцентрове лиття – це коли метал заливають у форму, що обертається навколо горизонтальної або вертикальної осі, від чого метал притискується відцентровою силою до стінок форми, найбільш віддалених від центра. Структура металу виходить щільною, бо гази та неметалічні домішки витискуються на поверхню, яка знаходиться ближче до центра обертання, звідки їх видаляють механічною обробкою. Обертання форми продовжують до повного затвердіння металу. Є три способи відцевого лиття: відцентровий, напіввідцентровий та спосіб центрифугування.

За допомогою відцевого лиття відливають тіла обертання, що мають рівну зовнішню поверхню та гладкі центральні отвори: труби, втулки, муфти та інші вироби.

Напіввідцентрове лиття, на відміну від відцевого, застосовують для відливання фасонних тіл обертання, в яких внутрішню поверхню одержують не за допомогою відцевої сили, а за допомогою стрижнів, причому виливки виходять більш точними і потребують меншої механічної обробки, ніж при звичайному литті.

Центрифугуванням відливають вироби різноманітної форми, навіть і такі, що не мають осі обертання. Стальні вироби, відлиті способом центрифугування, мають механічні властивості не гірші від поковок, а чавунні відливки мають дрібнозернисту структуру.

Точне лиття – це лиття, під час якого одержують дрібні (вагою менше за 10 кг) деталі із сталі чи твердих металів, які важко обробляти, та сплавів, які мають високу температуру плавлення (близько 1600°C).

Завдяки високій чистоті поверхні та точності розмірів деталей та виробів, одержаних за допомогою точного лиття, не потрібна їх подальша механічна обробка. Процес точного лиття дуже складний і дорогий, але застосовувати його вигідно, бо цим способом можна одержати готові вироби з твердих металів і сплавів, обробка яких різанням становить значні труднощі. Цей спосіб часто дає можливість запобігти таким трудомістким способам обробки, як паяння, клепання, зварювання та іншим. Способом точного лиття виготовляють різальні інструменти (свердла, фрези тощо), лопатки газових турбін та інші вироби.

Обробка тиском

Обробка металів тиском полягає в пластичній деформації або поділі матеріалу заготовки без зняття шару матеріалу.

Цей метод забезпечує високу продуктивність праці в порівнянні з іншими видами обробки. Близько 90% всієї сталі, що виплавляється, і 55% кольорових металів і сплавів обробляється тиском. Як заготовку використовують відливки зі сталі й кольорових сплавів, а також сортовий і листовий прокат.

Процес обробки тиском переслідує дві основні задачі: отримання виробів складної конфігурації із заготовок найпростіших форм; поліпшення структури й фізико-механічних властивостей металів і сплавів.

Обробленню тиском піддають тільки ковкі матеріали, що володіють певною пластичністю. Оскільки пластичність металів і сплавів неоднакова, то одні з них обробляються в холодному, а інші в гарячих станах. Наприклад, свинець, олово, алюміній, мідь, цинк і деякі інші метали, що володіють високою пластичністю, обробляються без попереднього нагрівання. Що стосується сталі, то для підвищення пластичності в більшості випадків її попередньо нагрівають до певної температури. Крихкі метали і сплави, такі як чавун, марганець, тверді сплави й інші тиском не обробляють.

Основними видами обробки металів тиском є: вальцювання, пресування, волочіння, вільне кування й штампування.

Вальцювання – вид обробки тиском, коли процес деформації металу здійснюється стисканням його між обертовими валками. При цьому метал здавлюється і витягується уздовж, стискаючись у поперечині. Розміри й форма поперечного перерізу, отриманого прокатуванням виробу, визначаються профілем отворів між стискаючими метал валками. Відношення площ поперечного перерізу металу до і після прокатування називається коефіцієнтом

втяжки, а різниця товщини до і після – абсолютною величиною обтискування.

Пресування – процес, при якому нагріту заготовку, укладену в замкнуту форму, видавлюють через отвір меншого від заготовки перетину. Пресуванням можна отримати складні профілі різного перетину. Вихідним матеріалом для пресування сталевих профілів служать прокатні заготовки, для виробів з кольорових металів і їх сплавів – злитки.

Вироби, виготовлені пресуванням, у багато разів перевершують за точністю розміри виробів, отриманих вальцюванням.

Процес пресування здійснюється двома методами: прямим і зворотним.

При прямому методі нагріту до певної температури заготовку поміщають у замкнуту порожнину контейнера. Тиск пресу передається на заготовку пуансоном через прес-шайбу. Таким чином, метал видавлюється через отвір матриці, яка укріплена в матриці-тримачі.

При зворотному методі пресування контейнер замкнений з одного кінця натискною шайбою, а тиск пресу на заготовку здійснюється через пуансон і матрицю. Таким чином, метал тече назустріч руху матриці з пуансоном.

Метод прямого пресування більш поширений, ніж зворотний. Він продуктивніший, і виріб має при цьому поверхню кращої якості.

Пресуванням отримують прутки різного профілю й труби. Для отримання прутків частіше користуються зворотним методом пресування.

Волочіння. При волочінні оброблюваний метал протягується через отвір у матриці або філь'єрі, що поступово звужується.

У результаті волочіння зменшується площа поперечного перерізу, але збільшується довжина заготовки. Волочіння застосовують у тому випадку, коли треба отримати точні розміри, зберігши при цьому високі фізико-хімічні властивості матеріалу виробу.

Цей процес застосовують для отримання тонкостінних труб, виготовлених попередньо прокатуванням або пресуванням, тонкого дроту діаметром 0,01...5 мм, каліброваних прутків, фасонних профілів, з яких шляхом розрізання отримують потім готові деталі – призматичні й сегментні шпонки, опорні призми, шліцьові валки та інші. Якщо вихідний переріз потрібно значно зменшити, то волочіння повторюють декілька разів, тому що тягове зусилля обмежується міцністю дроту і втяжкою (відношенням площі вихідного поперечного перерізу до кінцевого), яка

за один прохід може становити від 1,05 до 1,5.

Вільне кування. Заготовку (шматок металу) попередньо нагрівають до пластичного стану й піддають багаторазовій і переривчастій обробці ударами ручного чи механізованого молота або силою тиску спеціального кувального преса до отримання заданої форми й розмірів. Такий процес називають вільним куванням, тому що метал при деформації тече вільно в напрямках, які не обмежені поверхнями інструменту. Необхідно пам'ятати, що при цьому змінюються не тільки форма і розміри заготовки, але й структура металу і його механічні властивості. У правильно кованого виробу механічні показники, зазвичай, вищі ніж у литого. Виріб, що отримують у процесі кування, називається поковкою. Куванням виготовляють різні деталі: вали, бандажі для вагонних коліс, шатуни, болти, клапани тощо.

Основними операціями вільного кування є сплющування (осадка), протягування, прошивання (пробивання), гнуття, закручування, рубання та інші.

Сплющування – це кувальна операція, при якій зменшується висота заготовки за рахунок збільшення поперечних розмірів. Поковки дисків, зубчастих коліс і подібних до них деталей виготовляють тільки осадкою. Осадка проводиться бойками або осадковими плитами.

Протягування – це збільшення довжини заготовки за рахунок зменшення її поперечного перерізу. Якщо кування повинно мати достатньо високі механічні якості за всіма напрямками, то воно спочатку осаджується, а потім протягується. Протяжку застосовують для виготовлення тяг, важелів, колон, валів і так далі.

Прошивання (пробивання) служить для отримання наскрізного отвору в заготовці. Для цього поковки нагрівають, укладають над отвором у ковадлі і встановленим зверху пробійником завдають ударів. Отвір пробивається спочатку з одного боку заготовки, а потім з іншого.

Гнуття – це коли різні деталі машин і предмети широкого вжитку виготовляють гнуттям. Заготовки надають вигнуту форму в підкладних штампах і відповідних пристосуваннях.

Закручування здійснюється так: наприклад, одне коліно поковки валу затискають бойками молота, а на інше надягають масивну вилку, кінець якої повільно повертають.

Рубання – операція, яка полягає у відділенні однієї частини нагрітої заготовки від іншої за допомогою ковальської сокири.

За способом механізації вільне кування поділяють на ручне і машинне.

Ручне кування сьогодні застосовується порівняно мало, як правило, в ремонтних майстернях, де виготовляють невеликі поковки.

Машинне кування застосовують на кувальних молотах і пресах при серійному виробництві. Воно має значні переваги перед ручним, так як дозволяє виготовляти поковки великої маси в будь-якій кількості і з більш високою точністю. Машинне кування проводиться за допомогою молотів, кувальних машин і пресів. Маса падаючої частини пневматичних молотів коливається від 50 до 1000 кг.

Штамування. Суть штампування полягає в тому, що заготовку розміщують у штампі, де під тиском вона заповнює порожнини штамп, набуваючи потрібної об'ємної чи листової форми.

Переваги штампування перед куванням це: висока продуктивність, висока точність розмірів та незначна шорсткість поверхні, отримання деталей складної форми з однаковими розмірами. Недоліками є висока вартість штампів (тому штампування як правило використовують для серійного та масового виробництва), можливість використання штампів для одного типорозміру виробу, виготовлення деталей малої маси (0,3...100 кг).

Обробка різанням

Лиття чи обробка деталей тиском часто не забезпечує необхідної точності розмірів та чистоти поверхні (за винятком спеціальних видів лиття, волочіння й холодного штампування). Тому виготовлені цими способами заготовки, як правило, вимагають додаткового оброблення. Кінцеву обробку в більшості випадків виконують різанням.

Обробка різанням – вид механічної обробки, який полягає в утворенні нових поверхонь шляхом відділення поверхневих шарів матеріалу.

Обробка різанням може бути реалізована за допомогою леза або абразиву (закріпленого чи вільного).

Леза – це клиноподібні елементи, які служать для формування поверхні деталі зняттям з матеріалу стружки. Буває оброблення як однолезовими, так і багатолезовими інструментами – різцями, свердлами, фрезами, плашками, мітчиками, протяжками тощо.

Абразивні інструменти – це інструменти, робоча частина яких містить закріплені частки абразиву (круги, сегменти, бруски, стрічки), або у вигляді вільного абразиву (порошки, пасти тощо).

Способи обробки різанням поділяють за стадіями (чистотою обробки – точністю і шорсткістю поверхні) так: чорнова, напівчистова, чистова й тонка.

Коротко зупинимося на окремих способах обробки виробів різанням.

Точіння – токарна обробка деталі, призначена для обточування поверхонь різної форми (зовнішніх циліндричних, конічних та фасонних), розточування отворів, підрізання торців і уступів, відрізання та розрізання металу, нарізання зовнішньої чи внутрішньої різьби.

Фрезерування виконується з використанням багатолезових інструментів – фрез. Фрезеруванням, як правило, обробляють площини, циліндричні поверхні, пази, шліци, різі.

Стругання та довбання – спосіб обробки одним або декількома різцями шляхом взаємного прямолінійного зворотно-поступального переміщення заготовки та інструмента. Стругання виконують у горизонтальній площині, а довбання – у вертикальній. Цими способами обробляються як плоскі поверхні, так і пази та шліци.

Протягування – спосіб обробки зовнішніх циліндричних поверхонь, при якому заготовка повільно обертається, а протяжка (інструмент для протягування) прямолінійно зворотно-поступально переміщується. Використовується для обробки зовнішніх циліндричних поверхонь, отворів та пазів. Цей спосіб широко використовується у крупносерійному виробництві на спеціальних верстатах.

Свердління – основний спосіб створення циліндричного отвору шляхом лезової обробки. Різальним інструментом є свердла, які мають різні конструкції. Спіральні свердла використовують для оброблення отвору або розсвердлення – збільшення діаметра існуючого отвору. Комбіновані свердла призначені для створення декількох поверхонь за один робочий хід, при цьому вони можуть поєднувати в одній конструкції й інші інструменти (наприклад, зенкер). Кільцеві свердла використовують для обробки отворів великого діаметра (понад 60...70 мм).

Зенкерування використовують для обробки попередньо отриманих отворів з метою збільшення розміру та підвищення точності обробки отвору. Різальним інструментом є зенкер.

Розвірчування є основним способом чистової обробки отворів діаметром до 300 мм, якому передують свердління, зенкерування або розточування. Розвірчування дозволяє обробляти циліндричні, конічні, а також східчасті отвори.

Зенкування та цекування. Зенкування використовують для створення конічних заглиблень (фасок) в отворах під конічні головки потайних гвинтів, при нарізанні різьби, для притуплення гострих кромek тощо. Зенкування можна виконувати як спеціальними інструментами (зенківками), так і свердлами великого діаметра, загостреними під потрібним кутом.

Цекування – це обробка зовнішньої торцевої поверхні отвору або поверхні східчастого отвору під головки болтів для забезпечення їх перпендикулярності до осі отвору. Використовують для обробки торців отворів на верстатах свердлильно-розточувальної групи. Цекування є різновидом зенкування і виконується цековками, які мають можливість різання торцем. Цековка у своїй конструкції має напрямний елемент, призначений для орієнтації її осі у попередньо виготовленому отворі.

Шабрування – високоточне чистове оброблення поверхні деталі різних форм шляхом знімання мікроскопічно тонкого шару металу за допомогою однолезового різального інструмента шабера з метою підвищення точності форми, розміру та взаємного розташування попередньо оброблених іншими способами поверхонь.

Шліфування – це різновид абразивної обробки, що використовується для обробки твердих та крихких матеріалів. Шліфуванню піддаються площини, зовнішні циліндричні поверхні, отвори, різи.

Притирання – метод чистової абразивної обробки поверхонь деталей шліфувальними порошками або пастами.

Полірування – оздоблювальна (тонка) обробка для зменшення шорсткості поверхні з метою декорування та підвищення експлуатаційних властивостей (підвищення зносостійкості).

Хонінгування є процесом оздоблювальної обробки отворів спеціальним інструментом (хонінгувальною головкою), який забезпечує виправлення таких похибок форми отвору, як бочкоподібність, сідлоподібність, конусоподібність.

Суперфінішування – процес оздоблювальної (тонкої) обробки за допомогою спеціальної головки з абразивними брусками, яким надають складний рух відносно поверхні обробки. Цим методом обробляють плоскі, циліндричні, конічні та сферичні поверхні, як правило із загартованої сталі.

Кожен із наведених у цьому підрозділі методів обробки деталей має свої технологічні можливості, виражені: типовими поверхнями, для обробки яких вони призначені; стадіями виконання та технологічними характеристиками (припусками на обробку та параметрами якості отриманих поверхонь – квалітет стандартних допусків *IT* та шорсткість *Ra*).

У таблиці 8.1 приведено технологічні характеристики способів обробки різанням.

Таблиця 8.1 – Технологічні характеристики способів обробки різанням

Спосіб та стадія обробки	Припуск на сторону, мм	Параметри якості	
		точність, IT	шорсткість, Ra, мкм
Точіння			
чорнове	до 20,0	12...14	6,3...25
напівчистове	0,3...2,0	11...13	1,6...6,3
чистове	0,1...0,3	9...10	0,8...1,6
тонке	0,05...0,1	6...8	0,05...0,8
Фрезерування			
чорнове	до 5,0	11...13	6,3...25
чистове	0,1...1,0	9...10	1,6...6,3
Стругання			
чорнове	до 20,0	12...14	6,3...50
чистове	0,2...1,0	10...11	1,6...6,3
Довбання			
чорнове	0,5...2,0	12...14	6,3...25
чистове	0,03...0,5	10...11	1,6...6,3
Протягування			
чорнове	1,0...3,0	9...11	1,6...6,3
чистове	0,05...1,0	7...8	0,4...1,6
Свердління	0,1...15	8...14	0,8...12,5
Зенкерування	0,5...4,0	8...12	0,8...12,5
Розвірчування			
попереднє	0,1...0,5	7...8	0,4...1,6
чистове	0,01...0,1	5...6	0,1...0,4
Зенкування, цекування	0,1...2,0	10...12	1,6...6,3
Шабрування	-	-	0,2...0,4
Шліфування			
чорнове	0,3...1	8...10	0,8...12,5
чистове	0,1...0,3	6...7	0,4...0,8
тонке	0,03...0,1	5...6	0,05...0,4
Притирання			
чистове	0,01...0,03	4...5	0,1...0,2
тонке	0,001...0,003	4	0,025...0,1
Полірування			
попереднє	-	-	0,2...0,8
кінцеве	-	-	0,05...0,2
чистове	-	-	0,025...0,05
Хонінгування			
попереднє	0,02...0,1	6	0,1...0,8
кінцеве	0,005...0,02	5	0,05...0,2
Суперфінішування	0,01...0,05	5...6	0,025...0,2

Ультразвукова абразивна обробка полягає у зміні форми, розмірів, шорсткості і властивостей поверхонь заготовок і деталей, які обробляються, за рахунок знімання припуску матеріалу крихким сколюванням мікрочастинок при імпульсному силовому впливі абразивного інструмента з ультразвуковою частотою, тобто при обробці використовується енергія ультразвукових коливань. Такий процес є ефективним при обробці заготовок із крихких, твердих і хімічно нестійких конструкційних матеріалів, які мають низьку оброблюваність іншими методами обробки (скло, алмаз, кварц, напівпровідники тощо).

Ультразвукову абразивну обробку використовують для таких технологічних операцій:

- ультразвукова вирізка для утворення зовнішнього контуру заготовок;
- ультразвукова шліфівка переважно для чистої обробки плоских зовнішніх поверхонь замість шліфування алмазним інструментом, що дозволяє зменшити шорсткість та досягати високу точність оброблюваної поверхні;
- ультразвукове видалення облою абразивним його руйнуванням.

Ультразвукове видалення облою проводиться у робочій рідині, де заготовки обробляються ультразвуком. Такий спосіб обробки успішно використовується при усуненні облою на металічних деталях, які отримані при штампуванні методами вирубк, на литих деталях із пластмас.

Фізико-хімічна обробка

Обробку матеріалів здійснюють також з використанням фізико-хімічних процесів, які забезпечують видалення поверхневого шару матеріалів та формування поверхні. Переважно способи фізико-хімічної обробки використовують для калібрування, яке виконують після механічної обробки з метою збільшення точності та зменшення шорсткості деталі. Ці способи обробки також стають в нагоді при виконанні оздоблювальних операцій (наприклад, видаленні зади́рів із важкодоступних місць) та полірування, яке поліпшує мікрогеометрію поверхні, зменшує шорсткість, надає поверхні дзеркального блиску.

Широкого застосування набули такі методи фізико-хімічної обробки матеріалів як електрохімічне полірування, анодна та катодна електрохімічна обробка.

Електрохімічне полірування застосовується після механічної обробки деталей або холодного штампування для надання

поверхням блиску. Проводиться в електрохімічній ванні, в якій поміщена деталь слугує анодом.

Недоліком цього методу є складність забезпечення рівномірного зняття металу з різних ділянок деталі, незначне зменшення нерівностей поверхонь, низька точність обробки.

Анодну електрохімічну обробку застосовують до матеріалів, що важко піддаються обробці різанням. Процес проходить шляхом анодного розчинення металу без необхідності контакту заготовки з інструментом. Тому цей спосіб придатний для обробки тонкостінних деталей, які легко деформуються при механічній обробці, та деталей із крихкого матеріалу. У той же час недоліком є низька локалізація процесу знімання й розчинення металу.

Катодна електрохімічна обробка характеризується тим, що при протіканні електричного струму через електрохімічну систему іони металу з розчину виділяються на катоді, яким у цьому випадку слугує форма. Після утворення на формі шару металу необхідної товщини, копію відділяють від форми і при цьому отримують деталь з високою точністю відтворення геометричної форми та рельєфу поверхні.

Загалом електрохімічна обробка має високу продуктивність та економічність, дозволяє знизити трудомісткість виготовлення деталей у порівнянні з традиційними механічними методами обробки. Вона все більше витісняє механічну обробку в операціях по оздобленню деталей у крупносерійному та масовому виробництві.

Адитивні технології

Адитивні технології (англ. *Additive Manufacturing*) – узагальнена назва методів виготовлення виробів за даними цифрової моделі шляхом пошарового нарощування (добавлення).

У стандарті *ASTM F2792/1549323-1* адитивні технології визначені як «процес приєднання матеріалу з метою створення об'єкта з даних 3D-моделі, як правило, пошарово, на відміну від вилучаючих промислових технологій». У цьому випадку під вилучаючими технологіями мається на увазі механічна обробка, при якій здійснюється видалення (вилучення) матеріалу з масиву заготовки і при цьому введено поняття приєднання (додавання), що є суттю визначення «адитивні технології».

Адитивні технології (АМ-технології) можна розрізняти за:

- методом фіксації шару: фотополімеризація, сплавлення, склеювання;
- типом конструктивних матеріалів: рідкі, сипучі, ниткоподібні чи пруткові, листові або плівкові;
- ключовою технологією: лазерні, нелазерні.

За класифікацією *ASTM* адитивні технології поділені на 7 категорій.

1. Видавлювання матеріалів або пошарове нанесення розплавленого конструкційного матеріалу через екструдер – *Material Extrusion*.

2. Розбризкування або пошарове струминне нанесення конструкційного матеріалу – *Material Jetting*.

3. Розбризкування або пошарове струминне нанесення сполучного матеріалу – *Binder Jetting*.

4. З'єднання листових матеріалів або пошарове формування виробу з листових конструкційних матеріалів – *Sheet Lamination*.

5. Фотополімеризація у ванні або пошарове затверджування фотополімерних смол – *Vat Photopolymerization*.

6. Розплавлення матеріалу в попередньо сформованому шарі або послідовне формування шарів порошкових конструкційних матеріалів і вибіркове (селективне) спікання частин конструкційного матеріалу – *Powder Bed Fusion*.

7. Прямий підвід енергії безпосередньо в місце конструювання або пошарове формування виробу методом внесення конструктивного матеріалу безпосередньо в місце підведення енергії – *Directed Energy Deposition*.

АМ-технології сьогодні найбільш динамічно розвиваюча галузь матеріального виробництва, яка дає можливість отримувати нові властивості виробів, економити час та матеріали при їх виготовленні. Західні аналітики розглядають ступінь впровадження цих технологій як надійний індикатор реальної індустріальної потужності держави.

Характерною тенденцією останніх років є постійне зростання асортименту та кількості деталей, що виготовляються за адитивними технологіями. І особливо важливим є прогрес у найбільш важкому та інноваційному секторі АМ-технологій – «вироскуванні» виробів із металу. Наприклад, компанія «Боїнг» десятками тисяч виготовляє сотні найменувань деталей для військових та комерційних літаків, а *Дженерал Електрик* планує протягом 5...10 років наростити обсяги виробництва АМ-технологіями та досягнути виготовлення приблизно половини деталей енергетичних турбін та авіадвигунів цими методами.

Перехід на цифровий опис виробу – *CAD* і використання АМ-технології здійснив кардинальні зміни в ливарному виробництві. Отримання ливарних синтез-форм та синтез-моделей шляхом пошарового нарощування радикально скоротило термін створення першого дослідного зразка деталі. Наприклад, термін створення блоку циліндрів автомобільного двигуна традиційними методами становить близько 6 місяців. Основний час витрачається на створення модельного оснащення. Використання АМ-технології для «вироскування»

ливарної моделі скорочує термін отримання першої відливки блоку циліндрів до двох тижнів. Тобто в 10...15 разів.

Окрім суттєвого скорочення часу, перевагами методу є раціональне використання матеріалів. При виготовленні деталей складної форми традиційними методами відношення маси використаного матеріалу до готового виробу може сягати 15...20. Застосування адитивних технологій для виготовлення аналогічних деталей дозволяє звести цей показник до 1,5.

Машини, які за адитивними технологіями створюють деталі з металу – верх інженерного мистецтва, адже в них сконцентровано найпередовіші знання з металургії, лазерної техніки, оптики, електроніки, систем управління, вимірювальних пристроїв, механіки, вакуумної техніки та інших.

Використання адитивних технологій дозволяє втілити в життя найвибагливіші ідеї конструктора, створити якісно нові машини та досягнути суттєвого прогресу в машинобудуванні.

8.3 ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ

термічна обробка; хіміко-термічна обробка; поверхнєве пластичне деформування; обробка концентрованими потоками енергії

Більшість машин працює в умовах, коли експлуатаційне навантаження (тиск, температура, корозійний вплив тощо) сприймається в основному поверхневими шарами. Тому довговічність створюваних технічних об'єктів переважно залежить від фізико-механічних властивостей матеріалу якраз поверхневих шарів. Основними різновидами методів зміцнення деталей, що мають широке застосування в машинобудуванні, є термічна та хіміко-термічна обробка і поверхнєве пластичне деформування. Зупинимось коротко на кожному з них.

Термічна обробка

Термічна обробка – це процес теплової обробки заготовок і виробів з металів або сплавів, що виконується з метою зміни їх структури і властивостей. Полягає в нагріванні до певних температур, витримці та наступному охолодженні із різною швидкістю. Таким чином, регулюванням температури термообробки та швидкістю охолодження досягається різне співвідношення характеристик міцності й надійності.

Наприклад, із підвищенням температури відпуску міцність зменшується, а пластичність та ударна в'язкість підвищуються. Величина зерна поверхневого шару, що може змінюватись при термообробці, не суттєво впливає на механічні властивості при випробуванні

на статичний розтяг і твердість, але в той же час різко підвищує ударну в'язкість, тріщиностійкість, знижує поріг холодоломкості, зменшує вплив концентраторів напружень.

Термічний обробці піддають заготовки (прокат, поковки, відливки тощо) та готові вироби з метою забезпечення необхідних експлуатаційних характеристик, стабілізації їх властивостей та розмірів.

Нижче зупинимося на основних способах термічної обробки.

Відпал. Термічна операція, при якій сталь нагрівається вище температури фазового перетворення з наступним охолодженням у печі або на повітрі.

При відпалі змінюється величина зерна, за рахунок чого покращується оброблюваність сталі при різанні, усувається крихкість, понижується твердість та збільшується в'язкість, знімаються внутрішні напруження сталі. Відпалу піддають відливки, поковки, прокат, заготовки із вуглецевої та легованої сталей. Залежно від вихідного стану сталі і вимог до її властивостей, відпал поділяють на відпал першого та другого роду.

Відпал першого роду – це відпал, при якому, як правило, не відбувається фазових перетворень. Розрізняють такі різновиди відпалу першого роду: дифузійний, рекристалізаційний та відпружувальний.

Дифузійний (високий) відпал (інакше – гомогенізація) – використовують для сталей, у яких різко виражена неоднорідність хімічного складу. З витримкою 10...15 годин при високих температурах (1100...1150°C) та подальшим повільним охолодженням у печі проходить вирівнювання хімічного складу. Але при цьому значно збільшується розмір зерна, а відповідно погіршуються механічні властивості сталі. Тому після дифузійного відпалу рекомендують виконувати повний відпал.

Рекристалізаційний відпал застосовують для усунення наклепу, отриманого при механічному обробленні, зниження твердості, збільшення в'язкості та пластичності холоднообробленої (тягнутої, катаної, штампованої) сталі. А також для зняття внутрішніх напружень у особливо відповідальних деталях після їх грубої механічної обробки. Він вирівнює структуру металу, отриману після холодної деформації сталі. Для всіх вуглецевих сталей такий відпал проводиться за температури 680...700°C з подальшим охолодженням на повітрі. Рекристалізаційний відпал для м'яких сталей (сталі з вмістом вуглецю менше 0,3%) для недопущення росту зерна, як правило не застосовують – його заміняють нормалізацією.

Відпружувальний відпал – це відпал, якому піддають виливки, зварні конструкції та деталі після обробки різанням, у котрих

виникають внутрішні залишкові напруження. Для повного зняття залишкових напружень найчастіше використовують відпал при 550...650°C. Час витримування обирають дослідним шляхом (від декількох годин), а швидкість нагрівання та охолодження такою, щоб виключити можливість виникнення нових внутрішніх напружень.

Відпал другого роду полягає у нагріванні сталі до установленної температури, витримуванні і подальшому повільному охолодженні. Мала швидкість охолодження (30...200°C/год.) уможливорює зворотні дифузійні фазові перетворення, а новоутворені рівноважні структури відрізняються дрібнішими зернами. Після відпалу сталь має нижчу твердість і міцність при значній пластичності. Розрізняють такі види відпалу другого роду: повний, ізотермічний, неповний та нормалізаційний.

Повний відпал найчастіше використовують для литих або оброблених тиском у гарячому стані деталей різної ваги з вуглецевих та легованих сталей. При цьому утворюється дрібнозерниста структура, понижується твердість та збільшується в'язкість (пластичність), знімаються внутрішні напруження. Повний відпал здійснюють при температурі на 30...50°C вище критичної з подальшим охолодженням у печі.

Ізотермічний відпал полягає у нагріванні, зазвичай, легованої сталі, як і при повному відпалі, і порівняно швидкому охолодженні до температури 660...680°C. При цій температурі призначають ізотермічну витримку протягом 3...6 годин для повного розпаду аустеніту, після чого проводять прискорене охолодження на повітрі. Ізотермічний відпал є найкращим способом зниження твердості й поліпшення обробки різанням складнолегованих сталей, наприклад 18Х2НЧВА. Перевага цього методу полягає у скороченні тривалості процесу. Як правило, ізотермічному відпалу піддають поковки та сортовий прокат невеликих розмірів із цементованої легованої сталі.

Неповний відпал проводять для зниження твердості та зняття напружень у сталі, покращення її обробки різанням. Він полягає в нагріванні сталі дещо вище температури 740...780°C, витримуванні при цій температурі з подальшим повільним охолодженням. Як правило, неповний відпал застосовують для сталей із вмістом вуглецю 0,83...1,7% (заевтектоїдні сталі), та для поковок і прокату із сталей із вмістом вуглецю менше 0,83% (доевтектоїдні сталі). Одним з різновидів неповного відпалу є сфероїдизація. У матеріалознавстві це процес переходу кристалів надлишкової фази в глобулярну (сферичну) форму, що відбувається при порівняно високих температурах у зв'язку зі зменшенням міжфазової поверхневої енергії. Процес сфероїдизації полягає в нагрівання сталі до температури дещо

вищої від нижньої критичної точки (для інструментальної сталі з вмістом вуглецю 0,65% це 740...760°C), тривалому витримуванні при цій температурі, повільному охолодженні до 650°C й подальшим охолодженням на повітрі. Сфероїдизація сприяє отриманню високої чистоти поверхні при механічній обробці та покращенню обробки сталі різанням, штампуванням чи витягуванням. Добре підготовлює структуру металу до гартування. Це найбільше стосується інструментальної сталі та високовуглецевих підшипникових сталей.

Нормалізаційний відпал або нормалізація здійснюється аналогічно повному відпалу, крім способу охолодження. Охолодження проводять на повітрі з високою швидкістю. При цьому сталь набуває, порівняно з повним відпалом, підвищеної твердості, дрібнішим стає зерно та покращуються механічні властивості. Нормалізацію (інакше її можна назвати часткове гартування) використовують для вирівнювання структурної неоднорідності, покращення обробки низьколегованих сталей та для підготовки структури до подальшої термічної обробки. Деякі середньолеговані та високолеговані конструкційні сталі з високою твердістю після нормалізації вимагають високого відпуску для покращення обробки різанням.

Світлий відпал, забезпечує збереження первісної поверхні металу завдяки запобіганню його окислюванню. Здійснюється в закритих ящиках, деталі для їх захисту від окислення засипають. Для захисного засипання можна використовувати відпрацьований карбюризатор – вуглецевий матеріал (у нашому випадку гранульований), що застосовується для поверхневої цементації маловуглецевих сталей.

Гартування. Мета гартування – надати сталі більшої твердості. Гартування полягає в нагріванні до певної температури з подальшим швидким охолодженням, що надає твердості, але понижує в'язкість та збільшує крихкість.

Гартуванню піддають сталі з вмістом вуглецю понад 0,35%. Гартування сталей із меншим вмістом вуглецю нераціональне, оскільки дає незначний приріст твердості й виникає велика вірогідність виникнення дефектів у вигляді тріщин та викривлення від внутрішніх напружень. Гартуванню можна піддавати не тільки сталь, а й чавун.

Середовища, в яких здійснюють охолодження нагрітих для гартування деталей, поділяються на сильнодіючі, середні та слабкі.

До сильнодіючих охолоджувачів відносять 5...10% розчин каустика, холодну воду, 5% розчин кухонної солі, водний розчин соди. До середніх охолоджувачів відносять підігріту до 50...60°C воду, воду з додаванням мила й масла, нафту, мазут, рідке мінеральне масло. Слабкими охолоджувачами вважають розплавлений свинець

або повітря. Вибір середовища для охолодження вибирають залежно від марки сталі та розмірів деталі.

Гартування у двох середовищах практикується для деталей складної форми (мітчики, свердла, фрези та інші) з вуглецевих сталей з метою запобігання виникнення тріщин та викривлень. У таких випадках деталей охолоджують у воді до температури 300...200°C, а потім негайно переносять їх у масло або залишають на повітрі для подальшого більш повільного охолодження.

Ступінчасте гартування застосовують для деталей із вуглецевих та легованих сталей. При цьому деталь спочатку швидко охолоджують у розплавленій солі з температурою 180...300°C (залежно від марки сталі), витримують для вирівнювання температури, а потім охолоджують у маслі або на повітрі. Це суттєво зменшує термічні напруження й схильність до утворення тріщин. Для крупних деталей таке гартування не використовують.

Ізотермічне гартування виконується як і ступінчасте, але витримка деталі в розплавленій солі більш тривала – до повного розпаду аустеніту. При цьому повністю усувається можливість виникнення тріщин або викривлення деталей при гартуванні.

Поверхнєве гартування використовують з метою придання твердості й зносостійкості поверхні деталі. При поверхневому гартуванні деталей нагрівають газовим полум'ям, струмами високої частоти (СВЧ), струмами промислової частоти (СПЧ), електроконтактним способом або в електроліті. При ремонті обладнання більш прийнятне нагрівання ацетилено-кисневим полум'ям і СВЧ. Нагріви СВЧ, СПЧ, та інші, як правило використовують при серійному та масовому виробництві.

Газополум'яне поверхнєве гартування полягає в нагріванні газовим полум'ям поверхні деталі на певну глибину до температури 850...950°C з подальшим швидким охолодженням водою, спеціальною рідиною або повітрям. При цьому поверхневий шар металу гартується й набуває відповідні структуру та твердість. У той же час нижче прогрітого шару метал зберігає свою вихідну структуру та твердість. Шляхом зміни швидкості нагріву, потужності полум'я й охолоджуючого середовища регулюється глибина шару гартування та його твердість.

Поверхнєве гартування СВЧ підвищує зносостійкість поверхні та втомну міцність деталей, що мають концентратори місцевих напружень (отвори, галтелі, канавки тощо). При гартуванні СВЧ відбувається дуже незначне викривлення, відсутня окалина. Це дозволяє здійснювати гартування після кінцевого механічного оброблення або безпосередньо перед шліфуванням. Гартування СВЧ широко використовується для поверхневого зміцнення валів, зубчастих коліс, втулок, фрикційних дисків, кулачкових муфт, напрямних станин тощо.

Метод індукційного нагрівання дає можливість створення установок великої потужності, тому, як правило, використовується для поверхневого гартування робочих площин обладнання великих габаритів (наприклад, ковальсько-пресового обладнання).

Гартування в електроліті. Деталь у якості катода занурюють в електроліт, через який проходить постійний струм. При цьому на деталі виділяється шар водню, який створює високий електричний опір. У результаті поверхня деталі швидко нагрівається. При вимкненні струму деталь гартується безпосередньо в електроліті. Проте охолодження можна виконувати і в інших середовищах. Цей метод використовують, як правило, для отримання місцевого (локального) гартування.

Відпуск. Операція відпуску полягає в нагріванні загартованих деталей до певної температури й подальшому охолодженні. Основне призначення відпуску – зниження крихкості шляхом усунення внутрішніх напружень, що виникають при гартуванні, а також підвищення в'язкості й пластичності сталі. Внутрішні напруження при відпуску усуваються тим повніше, чим вища температура відпуску. Залежно від температури відпуск буває трьох видів: низький, середній, високий.

Низький відпуск здійснюють при температурі 150...200°C для часткового зняття внутрішніх напружень. Твердість при цьому не змінюється. Такий відпуск в основному використовують для ріжучого та вимірювального інструменту з вуглецевих та легованих сталей.

Середній відпуск здійснюють при температурі 350...500°C, його використовують для ресор, пружин, шестерень із середньовуглецевих сталей.

Високий відпуск здійснюють в інтервалі температур 500...650°C. Його мета – підвищити ударну в'язкість і найбільш повно зняти внутрішні напруження.

Поліпшення. Гартування в поєднанні з високим відпуском називають поліпшенням. Його призначення – здрібнення структури, підвищення механічних властивостей сталі й підвищення обробки різанням.

Старіння. Загартовані сталі з часом частково змінюють свою структуру навіть при кімнатній температурі, що тягне за собою зміну об'єму та розмірів деталі. Для стабілізації розмірів деталей призначають операцію, що зветься штучним старінням. Його здійснюють нагрівом деталі до 150...180°C й витримкою при цій температурі до 30 годин. Штучному старінню піддають, як правило, високоточні деталі та вимірювальний інструмент.

Хіміко-термічна обробка

Хіміко-термічна обробка – це сукупність процесів дифузійного насичення поверхневого шару одним або декількома хімічними елементами в поєднанні з попередньою або подальшою термічною обробкою. При цьому формується одно або багатокомпонентний дифузійний шар, що має комплекс високих механічних і фізико-хімічних властивостей.

Хіміко-термічна обробка включає в себе велику кількість способів. Наприклад, дифузійне насичення неметалами (вуглецем, азотом, бором) служить для зміцнення поверхні, а насичення поверхні металами (алюмінієм, хромом, цинком та іншими) або кремнієм чи бором з металами використовують для отримання захисних покриттів, стійких до корозії, корозійно-механічного зносу при нормальних та високих температурах.

Нижче розглянемо основні способи хіміко-термічного зміцнення поверхневих шарів.

Цементация сталі – це процес поверхневого насичення сталі вуглецем при температурі 850...950°C. Застосовують для отримання високої поверхневої твердості (до *HRC* 65), підвищення зносостійкості та втомної міцності. Часто цементации піддають деталі, що працюють в умовах активного тертя, водночас сприймають незначні ударні навантаження (наприклад, зубчасті колеса, шийки колінчастих валів і таке інше). Після цементации серцевина сталі зберігає певну в'язкість.

Цементацию виконують для вуглецевих та легированих сталей із вмістом вуглецю 0,2...0,3%; в окремих випадках для деяких нержавіючих сталей з метою підвищення їх зносостійкості.

Цементацию проводять на глибину 0,2...2,5 мм. Глибина цементованого шару залежить від сорту сталі, складу карбюризатора, температури й тривалості процесу.

Якщо деталь вимагає локальної цементации, то місце, що не підлягає цементации, захищають гальванічним обмідненням або покриттям вогнеупорною сумішшю.

Розрізняють цементацию у твердому карбюризаторі або рідкому чи газоподібному (за станом середовища-карбюризатора).

Цементация у твердому карбюризаторі є найбільш старим способом, нескладним і доступним.

Рідинну цементацию здійснюють у рідинних ваннах (наприклад, із розплавлених солей вуглекислого натрію), її перевага полягає в рівномірності нагріву виробу та малій деформації.

Газова цементация здійснюється в спеціальних печах у середовищі газів, що містять вуглець. Перевагами є менша тривалість

процесу, його нижча вартість, можливість регулювання концентрації вуглецю та глибини цементованого шару.

Після цементації вироби піддають необхідній термообробці (гартування та відпуск) для підвищення твердості цементованого шару та поліпшення механічних властивостей серцевини. Зазвичай виконують подвійне гартування. Перше – при вищій температурі для виправлення структури серцевини, а друге – для усунення перегріву та збільшення твердості поверхневого цементованого шару. Перше гартування можна замінити нормалізацією. Після другого гартування здійснюють відпуск при температурі 150...200°C.

Азотування – процес насичення сталі (чавуну) азотом у середовищі аміаку при температурі 480...700°C.

Азотування проводять шляхом тривалої витримки в спеціальних печах та використовують для зміцнення верхніх шарів сплавів, підвищення їх зносостійкості та отримання високих антикорозійних властивостей поверхні. Азотований шар зберігає свою твердість при високих температурах (до 500...520°C), він не коробиться при охолодженні.

Для азотування перевагу надають легованим сталям із вмістом алюмінію. Перед азотуванням деталі зі сталі або чавуну піддають гартуванню та відпуску. Після азотування механічне оброблення деталей виключається. У окремих випадках допускається не глибоке шліфування або тільки полірування та притирання.

Азотуванню піддають деталі машин, що працюють в умовах тертя та знакозмінних навантажень – наприклад, зубчасті колеса, вали, кулачки, шпинделі, гільзи двигунів тощо.

Нітроцементация (ціанування) – процес одночасного насичення поверхневого шару сталі азотом та вуглецем. Метою є зміцнення поверхневих шарів та збільшення зносостійкості й корозійної стійкості. Виконують його як в газовому середовищі, так і в рідинному (розплаві нейтральних та ціаністих солей). Після нітроцементації, як правило, виконують гартування та відпуск.

Застосовують нітроцементацию для термічно обробленого, заточеного ріжучого інструмента із швидкоріжучих сталей; замість цементації для дрібних зубчастих коліс, кріпильних деталей із конструкційних сталей.

Проте цей процес має обмежене використання, оскільки для його здійснення використовуються токсичні ціаністі солі.

Алітування – термодифузійне оброблення алюмінієм сталей та чавунних виробів із утворенням на поверхні плівки окису алюмінію, що забезпечує їх підвищену жаростійкість.

При цьому механічна міцність поверхневого шару дещо

знижується, стає менш зносостійкою. Тому алітування доцільно застосовувати для деталей, що працюють при високих температурах, але не піддаються значним силовим та ударним навантаженням, не працюють на знос. Деталі після алітування не придатні для зварювання.

Широкого поширення набули три способи алітування: у порошкоподібних сумішах, у ваннах із розплавленим алюмінієм та з використанням газотермічного напилювання алюмінію з подальшим дифузійним нагрівом.

Спосіб газотермічного напилювання порівняно з іншими має ряд переваг: простота технологічного процесу та обладнання, мобільність та універсальність обладнання, висока продуктивність та техніко-економічна ефективність. Може використовуватись в умовах ремонтних підприємств. Забезпечує жаростійкість оброблених деталей до 800...900°C, а в деяких випадках до 950...1200°C.

Для алітування краще використовувати маловуглецеві сталі, тому що вміст вуглецю значно впливає на швидкість та глибину дифузії. Із цих же причин алітування деталей із чавуну вимагає попереднього відпалу з метою обезвуглецевлення поверхневого шару. Алітуванню піддають також деталі, виготовлені з легованих і жаростійких сталей та сплавів (наприклад, *X18H9T*, *4X14H14B2M*). Хоча алітування проходить на невелику глибину, стійкість сталей підвищується, особливо при експлуатації в атмосфері сірководню.

Термін служби деталей, виготовлених із вуглецевих сталей, після алітування зростає в десятки разів.

Слід розрізняти алітування та алюмініювання. На відміну від алітування, алюмініювання є захисним покриттям виконаним без термодифузії, і не підвищує жаростійкість виробів.

Борування – процес насичення поверхневого шару сталльної деталі бором при температурі 900...950°C, результатом якого є утворення дифузійного шару товщиною 0,05...0,15 мм, що складається з боридів. Його основною метою є підвищення твердості та зносостійкості сталевих виробів.

Поверхні, піддані боруванню, мають дуже високу твердість та стійкість до абразивного спрацювання та корозійного впливу. Тому борування високоефективне, воно широко застосовується при виготовленні бурового та штампового інструменту.

Титанування – дифузійне насичення поверхні металевих виробів титаном, що забезпечує підвищення твердості, зносостійкості кавітаційної та корозійної (особливо кислотної) стійкості.

Оскільки титан є активним карбідоутворюючим елементом, то при титануванні сталей та вуглецевмісних твердих сплавів на поверхні

утворюється шар з карбїду титану. Підвищення вмісту вуглецю у сталі веде до збільшення товщини покриття з карбїду титану, а збільшення вмісту хрому зменшує товщину покриття, так як хром уповільнює дифузію вуглецю в аустеніті.

Тонке карбїдне покриття завтовшки 8...18 мкм надійно працює на зношування при твердїй основі. Титанування різноманїтного формувального інструменту (пуансони, матриці) може призвести до підвищення його стійкості у 3...10 разів. Воно значно покращує стійкість до корозії. Наприклад, корозійна стійкість конструкційної сталі звичайної якості (наприклад, Ст3) після титанування виявилась вищою, ніж сталі 12Х18Н10Т. У окремих випадках економічно доцільна заміна дорогої хромонікелевої сталі на сталь Ст3, оброблену титануванням.

Титануванню піддають також й чавуни, спечені тверді сплави та кольорові метали.

Силіціювання – високотемпературне (950...1100°C) дифузійне насичення кремнієм поверхневого шару металу або сплаву. Здійснюють у порошкових сумішах, газовому середовищі й рідких середовищах як електролізним, так і без електролізним методом.

Силіціювання застосовується переважно як засіб захисту тугоплавких металів (вольфрам, моїбден, тантал, титан та інших) від окислення. Воно надає сталі високої корозійної стійкості в морській воді, в азотній, сірчаній та соляній кислотах і збільшує жаротривкість (до 800...1000°C) та стійкість проти зносу. Незважаючи на низьку твердість 200...300 HV, силіційований шар набуває високої зносостійкості після просочування мастилом за температур 170...200°C.

Силіціюванню піддають деталі, що використовуються в обладнанні хімічної і нафтогазової промисловості (вали насосів, трубопроводи, запірні та регулююча арматура, кріпильні деталі тощо).

Хромування – хіміко-термічне дифузійне насичення поверхні сталевих виробів хромом за температури 900...1300°C у відповідному середовищі або процес осадження на поверхню деталі шару хрому з електроліту під дією електричного струму. Шар хрому може наноситися для декоративних цілей, забезпечення захисту від корозії та ерозії, підвищення зносостійкості або для збільшення твердості поверхні. У промисловості хромування використовується для зниження тертя, підвищення зносостійкості, корозійної стійкості, твердості. Цей процес забезпечує підвищену стійкість сталі до газової корозії при температурі до 800°C, високу корозійну стійкість у таких середовищах, як вода, морська вода й азотна кислота. Поверхневі дефекти при хромуванні посилюються, і поверхня підлягає подальшій обробці, так як хромування не дає ефекту вирівнювання. Хромування

зазвичай використовують для деталей паросилового обладнання, пароводяної арматури, клапанів, вентилів патрубків, а також деталей, що працюють на знос в агресивних середовищах.

Слід відмітити, що існують й такі методи хіміко-термічного оброблення деталей, як цинкування, алюмінування та інші. Вони виконуються аналогічно процесу цементації з метою надання виробам із сталі певних цінних властивостей: жаростійкості, зносостійкості, корозійної стійкості тощо.

Широкого поширення набули процеси багатокомпонентного дифузійного насичення поверхневих шарів деталей, що дозволяє більш гнучко досягати кращих властивостей поверхневого шару для експлуатації в конкретних умовах.

Поверхнєве пластичне деформування

Для підвищення довговічності й надійності деталей машин технологи мають значний перелік сучасних методів зміцнення, серед яких особливе місце належить способам поверхневого пластичного деформування (*ППД*). Застосування *ППД* на фінішних етапах обробки деталей є ефективним засобом підвищення їх міцності та експлуатаційних характеристик.

Поверхнєве пластичне деформування – вид обробки, при якій відбувається пружно-пластичне деформування поверхневого шару виробу без утворення стружки.

За рахунок пружно-пластичної деформації й локального нагріву, що виникають при обробленні методом *ППД*, формується напружено-деформований та фізичний стан поверхневого шару. При цьому відбувається зміна мікрогеометрії поверхні, фізико-механічних властивостей поверхневого шару оброблюваних деталей. Поверхня, оброблена методами *ППД*, має підвищену твердість, залишкові напруження стиску в поверхневому шарі, згладжені мікронерівності. Таким чином підвищується зносостійкість, втомна міцність, стійкість до корозійного впливу та інше.

Широке поширення методи *ППД* отримали завдяки своїй економічності й простоті реалізації. За характером прикладених навантажень ці методи поділяють на статичні та динамічні.

До статичних відносять поверхнєве дернування, вигладжування, обкатування, вібраційне накатування, вібраційне вигладжування та інші. При обробленні статичними методами деформуючий інструмент або робочі середовища впливають на поверхню оброблюваних деталей із постійним зусиллям. При цьому відбувається плавне переміщення інструмента і відповідно осередку деформації під ним по всій поверхні деталі.

Динамічні методи – це дробоструминна, гідродробоструминна, віброударна, ротаційна обробки, чеканка, обробка кульково-стрижневими зміцнювачами, віброконтактний наклеп, ударне накочування, ультразвукова обробка, обробка механічними щітками, віброобкочування, вібровигладжування тощо. При динамічних методах *ППД* робочі середовища (наприклад, у вигляді сталевих кульок) впливають на поверхню оброблюваних деталей багаторазовими зіткненнями. При цьому сила зіткнень змінюється в кожному циклі від мінімального до максимального значення. Обробці може піддаватися як вся поверхня деталі одночасно, так і з переміщенням зони впливу послідовно по всій поверхні деталі або окремих ділянок при потребі місцевого зміцнення. На відміну від статичних способів, обробка деталей динамічними методами поверхневого пластичного деформування дозволяє енергетично більш вигідно впливати на матеріал деталі, обробляти фасонні профілі, забезпечуючи при цьому необхідну точність і якість поверхневого шару при високій продуктивності.

При *ППД* підвищення твердості залежить від структури поверхневого шару. Значне підвищення твердості може формуватися у сталей з аустенітною, феритною і мартенситною структурою, незначне – у сталей з перлітною й сорбітною структурою, залежно від здатності до зміцнення. У деталей із м'яких і незагартованих сталей, в результаті обробки *ППД*, можна отримати значне підвищення твердості, тоді як в загартованих всього до 10...15%.

Обробка методами поверхневого пластичного деформування тонкого поверхневого шару має, у порівнянні з іншими фінішними методами обробки поверхні, низку переваг:

- у поверхневому шарі виникають залишкові стискаючі напруження, відсутні концентратори напружень;
- відсутні термічні дефекти;
- у поверхневому шарі утворюється дрібнозерниста структура, зберігається цілісність металу;
- забезпечується стабільна якість поверхні;
- при збереженні вихідної форми заготовки забезпечується досягнення мінімальних висотних параметрів шорсткості поверхні деталі;
- мікронерівності набувають сприятливої форми з необхідними площею й топографією заглиблень для утримання мастильного матеріалу і великою долею опорної площі на рівні вершин нерівностей;
- забезпечується значна товщина зміцнення поверхневого шару по всій площі деталі, при цьому межа між зміцненою і незміцненою зонами має плавний перехід.

Одним із основних способів підготовки поверхні металевих виробів під захисне неметалеве покриття (полімерне, скловидне, керамічне, склокристалічне, гумове та інші) є дробоструминна обробка. Вона дозволяє не тільки видалити с оброблюваної поверхні іржу, окалину, пригар, формовочну землю, зварний флюс і таке інше, але й сформувати на ній рівномірну шорсткість необхідних геометричних розмірів, а також активувати очищену поверхню, що позитивно відбивається на міцності зчеплення ґрунтового шару захисного покриття з металевою основою.

Дробоструминна очистка здійснюється потоком технічного дробу, котрий з допомогою стиснутого повітря розганяється через спеціально спрофільовані канали (сопла) до швидкості 160 м/с та більше і в вигляді конічного дробоструминного факела направляється на оброблювану поверхню під кутом 45...65°. Дробоструминні сопла живляться від дробоструминних апаратів нагнітального або всмоктувального типу. Пристрої нагнітального типу мають коефіцієнт корисної дії від 70% і забезпечують велику швидкість вильоту дробу (>30 м/с), тоді як пристрої всмоктувального типу мають коефіцієнт корисної дії до 40% і низьку швидкість вильоту дробинок (<30 м/с). Використання того чи іншого пристрою диктується техніко-економічними вимогами. Дробоструминне очищення являється екологічно прийнятним способом струминно-абразивної обробки, так як утворений при цьому металевий пил добре утилізується і не забруднює навколишнє середовище. Проте досить ефективне та економічно вигідне дробоструминне очищення має один істотний недолік: високі швидкості атаки і рикошету дробинок, що несе небезпеку для обслуговуючого персоналу. Тому дробоструминне очищення виконують в спеціальних технологічних комплексах, оснащених автоматичними маніпуляторами. Механічні руки автоматичних маніпуляторів переміщують дробоструминні сопла по еквідистанті до утворених кривих оброблюваної поверхні на відстані, яка забезпечує найбільш вигідну швидкість атаки. При цьому відбиток дробоструминного факела переміщують по оброблюваній поверхні з певною швидкістю подачі, яка дозволяє знімати необхідний припуск. Для виробів з низьковуглецевих сталей величина припуску з економічних міркувань не повинна перевищувати 0,1 мм.

Обробка концентрованими потоками енергії

Нині поширення набувають методи зміцнення поверхневого шару, що базуються на використанні концентрованих потоків енергії. Зміна щільності теплового потоку дозволяє здійснювати термічну обробку, оплавлення, шоківий удар поверхневого шару і отримувати

при цьому унікальні структури з високими фізико-механічними властивостями. Використовуючи ці методи здійснюють модифікацію поверхневого шару в атмосферних умовах, у вакуумі або в контрольованому середовищі.

До цих методів належать ті, які використовують потоки енергії, щільність потужності яких перевищує 10^2 Вт/см^2 (табл. 8.2).

Таблиця 8.2 – Щільність потужності концентрованого потоку енергії різних джерел

Найменування джерела потоку енергії	Потужність, Вт/см^2
Газове полум'я	$10^2 \dots 10^3$
Низькотемпературний плазмовий струмінь	$10^4 \dots 10^5$
Іонний пучок	понад 10^4
Електрична дуга	$10^5 \dots 10^6$
Електронний промінь	$10^7 \dots 10^8$
Лазерний промінь	$10^6 \dots 10^{12}$
Електрична іскра	$10^8 \dots 10^9$

У сучасному машинобудуванні чільне місце зайняли плазмова та лазерна види обробки.

Плазмова обробка. При її застосуванні відбуваються фізичні процеси, завдяки яким у результаті впливу низькотемпературної плазми виникають зміни складу, структури або фізичного стану матеріалу, який обробляється. У свою чергу це призводить до зміни форми чи геометричних розмірів заготовки. Робочим інструментом є спеціальні установки – плазмотрони (генератори низькотемпературної плазми).

Плазмову обробку застосовують для таких операцій: відпал та модифікація поверхні матеріалу; плазмове напилення та наплавлення; гартування; лазування тощо.

Лазерна обробка. Цей вид обробки заснований на впливі на матеріал заготовки сфокусованого поліхроматичного (монохроматичного) випромінювання, яке викликає нагрівання, плавлення та (або) випарювання матеріалу, який обробляється. Для цього виду обробки використовуються спеціальні установки, а саме: газові або гелій-неонові лазери.

Лазерну обробку використовують для таких операцій: вирізання заготовок, модифікація поверхні матеріалу, нанесення маркування, локальне легування, пайка, зварювання, наплавлення, легування тощо.

Використана література

1. *Машиностроение. Энциклопедия* / Ред.совет: К. В. Фролов (пред.) и др. – М.:МЗ8 Машиностроение.
2. *Технология изготовления деталей машин Т.III-3* / А. М. Дальский, А. Г. Суслов, Ю. Ф. Назаров и др.; под общ. ред. А. Г. Суслова. 2000. 840 с., ил.
3. *Механіка деформування композитних брусів* / О. В. Горик, В. Б. Піскунов, В. М. Чередніков // Полтава, АСМІ: - 2008. – 400 с.
4. *Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: [підручник для студ. вищ. навч. закл.]* / В. В. Попович. – Львів: Світ, 2006. – 624 с.
5. *David L.Bourella, Joseph J.Beaman, Jr., Ming C.Leub and David W.Rosenc. A Brief History of Additive Manufacturing and the 2009 Roadmap for Additive Manufacturing: Looking Back and Looking Ahead. RapidTech2009, www.rapidtech.itu.edu.tr.*
6. *Donachie M. J., Donachie S. Superalloys: A technical Guide, 2-nd Ed. ASTM International, 2002. – 438 p.*

9 ПОСТАНОВКА НА ВИРОБНИЦТВО ТА УПРАВЛІННЯ ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ МАШИН

Ефективність техніки зумовлена властивостями, закладеними при її створенні, та рівнем технічної експлуатації, що визначає міру реалізації потенційних можливостей машини.

Постановкою продукції на виробництво завершується складна і відповідальна робота зі створення машин. Після цього настає головний період їх життєвого циклу, коли вони реалізують своє призначення, приносять користь. В цей період управління технічним станом машин є складною системою, яка в першу чергу визначається ще на етапі творення.

Головне завдання системи управління технічним станом машин – забезпечити необхідний рівень працездатності машин через вплив на її технічний стан методами технічного обслуговування і ремонту (*ТОiP*), формуванням необхідного рівня продуктивності та надійності.

Адже першочергова вимога до машин, яка забезпечує їх ефективність – це необхідний рівень їх працездатності при мінімальних витратах.

9.1 ПІДГОТОВКА МАШИНОБУДІВНОЇ ПРОДУКЦІЇ ДО ВИРОБНИЦТВА

*виготовлення та випробування дослідного зразка;
конструкторська та технологічна підготовка виробництва;
встановлення гарантійного терміну експлуатації*

Цей період «життя» машини пов'язаний з виготовленням та випробуванням дослідного зразка, конструкторської підготовки виробництва і технологічної підготовки та організації серійного виробництва.

Виготовлення та випробування дослідного зразка

Виготовлення та випробування дослідного зразка є невід'ємною і відповідальною частиною етапу підготовки техніки до серійного виробництва. Як правило, дослідні зразки машин виготовляють на експериментальному виробництві розробника нової техніки або на одному із машинобудівних заводів науково-виробничого об'єднання, до складу якого входить розробник (спеціальне конструкторське бюро (*СКБ*) або галузевий науково-дослідний інститут (*НДІ*)). Це дає можливість розробнику активно виконувати авторський нагляд за виготовленням дослідного зразка (партії) й оперативно виправляти локальні помилки в конструкції нової машини.

Дослідний зразок (партія) нової машини підлягає випробуванню в умовах виробника (заводські випробування) та в умовах замовника продукції (приймальні випробування).

Випробування проводять відповідно до розробленої програми та методики, яку погоджують з розробником і затверджують замовником машинобудівної продукції.

Заводські випробування в умовах експериментального виробництва проводять дві зацікавлені сторони: розробник і виробник нової машини.

У приймальних випробуваннях, що проводяться в реальних умовах експлуатації машини, як правило, беруть участь: розробник, виробник, замовник та, за необхідності, представники служби охорони праці, екологічної безпеки, санітарної служби, служби з надзвичайних ситуацій.

Нова машина визнається придатною для експлуатації та подальшого виробництва, коли результатами випробувань доведено, що її технічна характеристика повністю відповідає вимогам технічного завдання. Результати випробувань оформляють протоколом і актом, що служать основою (після виправлення виявлених помилок) для введення її в експлуатацію та організації подальшого виробництва цих машини у визначені строки. Виробництво нової машини починають з конструкторської та технологічної підготовки виробництва.

Конструкторська та технологічна підготовка виробництва

При конструкторській підготовці виробництва виправляють виявлені в процесі заводських і приймальних випробувань помилки і готують повний комплект конструкторських документів, як графічних, так і текстових, відповідно до технологічних умов машинобудівного заводу-виробника нової машини.

До повного комплексу конструкторських документів на машину обов'язково додають експлуатаційні та ремонтні документи.

Склад конструкторської документації визначається господарським договором між розробником і замовником нової машини і повинен бути таким, щоб забезпечити виробнику за короткий проміжок часу виробництво нової машини, а майбутнім замовникам ефективно експлуатувати машину.

Технологічна підготовка виробництва полягає в тому, щоб на підставі конструкторської документації забезпечити комплексну розробку технологічних процесів виготовлення нової конструкції машини на всіх стадіях виробництва і повністю підготувати машинобудівний завод до її випуску. Головною і найбільш відповідальною частиною підготовки виробництва є проектування технологічних

процесів і конструювання засобів технологічного оснащення. У багатьох випадках технологічну підготовку виробництва ведуть паралельно з розробкою конструкторської документації.

При технологічній підготовці виробництва виконують такі види робіт:

- відпрацювання конструкції на технологічність;
- розробка технологічних процесів виготовлення та контролю заготовок і деталей, складання вузлів, а також допоміжних робіт, починаючи з отримання вихідних матеріалів і заготовок і закінчуючи упакуванням готової продукції;
- типізація і нормалізація технологічних процесів, в тому числі з використанням групової або модульної технології і технологічного оснащення;
- встановлення норм часу на виготовлення, норм витрат матеріалів і технологічного оснащення;
- проектування спеціального і нормалізованого інструменту, пристосувань, штампів та іншого технологічного оснащення;
- виготовлення і доведення запроектованого технологічного оснащення;
- проектування і виготовлення спеціального технологічного обладнання, приладів, засобів механізації й автоматизації основних і допоміжних виробничих процесів, транспортних засобів і нестандартизованого обладнання, пов'язаних із технологічним процесом і організацією робочих місць;
- розрахунок необхідного обладнання і планування його розміщення;
- розрахунок виробничої потужності цехів, ділянок, ліній;
- доведення та налагодження технологічних процесів для впровадження запроектованих режимів оброблення.

Велике значення для обсягу робіт, пов'язаних з технологічною підготовкою, має ступінь конструктивно-технологічного наслідування нової конструкції машини. Розробка технології виготовлення машини потребує багато часу, але більш трудомісткою роботою є проектування і виготовлення засобів технологічного оснащення, на долю якого припадає до 80% загальної трудомісткості підготовки виробництва.

Одним із найважливіших напрямків скорочення терміну підготовки виробництва є типізація конструктивних елементів на основі модульного принципу. Цей напрямок дозволяє широко використовувати уніфіковане технологічне оснащення.

Відпрацювання конструкції машини на технологічність повинно забезпечити зниження трудомісткості й собівартості виготовлення,

скорочення циклу виробництва, зниження вартості робіт по обслуговуванню машин.

Становлення серійного виробництва нової машини відбувається при авторському нагляді розробника, який допомагає машинобудівному заводу-виробнику вирішити у планові строки такі питання:

- досягнення обсягу випуску згідно з проектною потужністю підприємства;
- забезпечення необхідної стабільності якості;
- досягнення проектною трудомісткості виготовлення на усіх стадіях виробництва;
- організація сервісного обслуговування.

Встановлення гарантійного терміну експлуатації

Гарантійний термін – один із найважливіших критеріїв споживчого вибору тієї чи іншої технічної системи. Гарантійний термін (гарантійне напрацювання) – чисельна величина, виражена в заданих одиницях виміру (час, виконана робота), протягом яких діють гарантійні зобов'язання постачальника (виробника).

Розрізняють три види гарантійних термінів.

Гарантійний термін експлуатації. Час, протягом якого виробник гарантує стабільність показників якості товару (продукції) в процесі його експлуатації за умови дотримання користувачем правил експлуатації.

Гарантійний термін зберігання. Час, протягом якого виробник гарантує збереження всіх встановлених стандартами експлуатаційних показників і споживчих властивостей товару за умови дотримання користувачем правил зберігання.

Термін придатності товару. Час, протягом якого виробник гарантує всі встановлені стандартами експлуатаційні показники і споживчі властивості продукції (товару) за умови дотримання користувачем правил експлуатації й зберігання. Після закінчення терміну придатності товар вважається непридатним для використання за призначенням. В основному термін придатності товару стосується медичних препаратів, продуктів харчування тощо.

Встановлення (призначення) гарантійного терміну експлуатації виробу означає, що в постачальника (виробника) перед отримувачем (замовником) виникає зобов'язання безкоштовно усувати своїми силами і засобами відмови (дефекти) виробу й невідповідності якості й комплектності, передбачених технічними умовами. Суть призначення гарантійного терміну – у часі, протягом якого дане зобов'язання діє. Необхідно зазначити, що гарантійний термін експлуатації не пов'язаний з досяжністю виробу ні граничного, ні будь-якого іншого задалегідь

обумовленого технічного стану. Саме тому гарантійний термін експлуатації не є технічною характеристикою виробу, і його не слід отождествлювати ні з показниками надійності, ні з будь-якими іншими його показниками. Призначаючи гарантійний термін, виробник бере на себе тільки зобов'язання замінити або відремонтувати виріб, але ці зобов'язання не є обов'язковими ні за показником безвідмовності, ні за будь-якими іншими показникам надійності.

Умотивоване формування гарантійних зобов'язань на технічні системи з технічно обґрунтованою тривалістю гарантійного терміну експлуатації забезпечує визначення критерію їх якості в частині надійності, що гарантується виробником. Все це дозволяє не тільки підвищити відповідальність виробників за якість технічних систем, а й дає можливість користувачу виявити всі приховані дефекти придбаної продукції й захистити себе від придбання неякісної техніки. Отже, гарантійний термін експлуатації є важливим показником якості виробу. Непродумане встановлення гарантійного терміну може призвести до великих матеріальних збитків як виробнику, так і користувачу.

Питання встановлення гарантійного терміну експлуатації виробів є предметом постійних дискусій у правовій, технічній і в економічній площинах. Нині економічна складова є пріоритетною. При цьому слід відмітити, що єдиного підходу до встановлення технічно обґрунтованої тривалості гарантійного терміну промислових виробів цивільного призначення немає. Тому встановлення гарантійного терміну експлуатації складних технічних систем із тривалими термінами служби не просте завдання, що потребує врахування відразу трьох аспектів, згаданих вище: економічного, правового та технічного. Його результатом є компроміс між рівнем надійності виробів, витратами на їх виробництво й маркетинговою політикою фірми, тобто між технічними та економічними аспектами призначення тривалості гарантійного терміну. При занижених величинах гарантійного терміну в невігідному становищі будуть користувачі виробів, при завищених – значні збитки нестиме виробник. У багатьох випадках гарантійні терміни обумовлені виключно маркетинговою політикою виробника і здебільшого набагато менші від терміну служби.

9.2 ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ АНАЛІЗУ ВАРТОСТІ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ МАШИН

*прогнозування економічної ефективності нових машин;
методологія модернізації обладнання*

Сьогодні промисловість є капіталомісткою, використовує все більш передові й складні технічні системи (ТС), де механічні, електричні, гідравлічні та інші компоненти інтегровані з програмним

забезпеченням й електронікою, з використанням датчиків і засобів автоматизації для управління їх роботою й продуктивністю. Отже, значний відсоток витрат промисловості спрямовано на технічне обслуговування машин й підтримку роботи, яка пов'язана із збереженням і відновленням технічного стану інженерних систем. Досвід показує, що часто витрати на експлуатацію (володіння) інженерних систем набагато перевищують витрати на їх придбання. Вартість володіння інженерною системою може перевищувати початкову вартість її придбання в десятки, а то і сотні разів. А ось вартість обслуговування й підтримки технічного стану системи може досягати 75% від загальної вартості її життєвого циклу.

Проте сьогодні у вітчизняній практиці при дослідженні, порівнянні й виборі економічно ефективних рішень при проектуванні, модернізації чи експлуатації технічних об'єктів ще часто зосереджуються на капітальних витратах. А операційні витрати в оцінці фінансової життєздатності проектів часто ігноруються при прийнятті рішень.

Тому у світовій економіці для придбання багатьох інженерних (технічних) систем рішення приймаються не на основі первинних витрат на закупівлю, а на основі вартості життєвого циклу (англ. *Life Cost Cycle*, або *LCC*).

Вартість життєвого циклу (*LCC*) системи може бути визначена як сума всіх витрат, понесених протягом терміну служби *ТС*, тобто загальною витратою на придбання й володіння.

Вперше поняття «вартості життєвого циклу» було використано в 1965 році в доповіді департаменту оборони *США* з питань закупівлі обладнання та матеріально-технічного забезпечення. На основі цієї доповіді були розроблені керівні принципи та директиви для Міністерства оборони *США*. У 1974 — 1978 роках в багатьох штатах Америки прийнято до використання концепцію «вартості життєвого циклу» в різних галузях промисловості цієї країни. З 1989 року й до нашого часу внесено значний вклад в розвиток методу аналізу *LCC*, використання якого поширилося практично на всі галузі виробництва розвинених країн світу.

Національна дослідницька рада *США* в 1991 році дає визначення «вартості життєвого циклу», як методу, що використовується для визначення того, як оцінити, порівняти, вибрати об'єкт, а потім контролювати витрати з метою забезпечення його адекватного обслуговування протягом усього терміну служби.

В аналізі *LCC* закладено інженерно-економічну методику оптимізації, яка полягає в тому, щоб визначити й вибрати той варіант, який генерує найбільший дохід протягом усього терміну «життя»,

іншими словами, генерує нижчу вартість життєвого циклу *ТС*. Тобто аналіз *LCC* – це системний аналітичний процес оцінки різних альтернативних шляхів дії з метою вибору найефективнішого способу використання ресурсів.

Повний аналіз *LCC* може бути дуже складним. Він вимагає величезних обсягів надійних статистичних даних й інформації, особливо, якщо повинен бути виконаний для великого виробничого об'єкту чи складної технічної системи. Адже в цьому випадку багато даних можуть бути неточними або невизначеними.

Тому значна частина методів аналізу *LCC* спрямована на порівняння вартості альтернатив на різних етапах життєвого циклу *ТС*:

- на етапі проектування й розробки складної технічної системи чи виробничого об'єкта аналіз *LCC* використовують для порівняння альтернативних технічних рішень, технічних систем та операційних й експлуатаційних концепцій; це допомагає інженерам проектувати й приймати управлінські рішення на ранніх стадіях концептуального проектування при виборі альтернативних технічних рішень;
- при експлуатації – прийняття рішення з технічного обслуговування; порівняльна оцінка витрат на варіанти виконання технічного впливу; ефективне планування заходів із технічного впливу; вибір стратегій технічного обслуговування й підтримки технічного стану; ідентифікація об'єктів, що потребують значних ресурсів;
- при реалізації інвестицій – обґрунтування альтернативних рішень із метою вибору економічно найбільш ефективного варіанта при оновленні парків обладнання придбанням нового або модернізацією існуючого.

Загалом питанню застосування аналізу *LCC* як інструменту в процесі вибору альтернатив приділяється останнім часом велика увага. Метод аналізу вартості життєвого циклу підтверджує, що витрати на всіх етапах «життя» технічної системи чи виробничого об'єкта можна контролювати та звести до мінімуму. Цей метод є одним із інструментів, які можуть бути використані для оцінки економічної ефективності різних варіантів рішень на всіх та кожному зокрема етапах життєвого циклу *ТС*.

Прогнозування економічної ефективності нових машин

Рано чи пізно настає момент реалізації нової машини. Творець машини спрямував всі зусилля на забезпечення її конкурентоздатності, ефективності, щоб вона була затребуваною на ринку. З протилежної сторони майбутній власник здійснює придбання нової

машини. Йому також хочеться, щоб вона принесла максимум вигоди. Але критерії, які використовують при виборі машин, доволі часто бувають дуже односторонні: в одному випадку вибирають високу надійність, у другому виключно низьку ціну придбання, в інших керуються значним терміном експлуатації чи високою технологічністю. І часто, нехтуючи технічними показниками, перемагає бажання придбати суттєво дешевше обладнання.

Як уже було акцентовано вище, виграш від довговічності значно перевищує зниження економічного ефекту від подорожчання машини. Отже, економічний ефект найбільшою мірою залежить від корисної віддачі і довговічності машини, і саме ці фактори повинні бути в центрі уваги при її виборі.

Сьогодні у світовій економіці рішення з придбання дорогих машин приймаються не тільки за критерієм початкової ціни, а й з врахуванням всієї вартості життєвого циклу (*LCC*). Цей підхід дозволяє ефективно оцінювати й контролювати реальні витрати та управляти ними на етапах від придбання до утилізації машин. Досвід показує, що дуже часто вартість володіння технічною системою у разі перевищує вартість його закупівлі.

Дж. Тейлором запропонована формула для визначення мінімуму дисконтованих витрат за одиницю виконаної машиною роботи за термін її експлуатації

$$C = (S_0 - S_n + \sum_{i=1}^n U_i) / \sum_{i=1}^n W_i \rightarrow \min \quad (9.1)$$

де S_0 – вартість нової машини;

S_n – залишкова вартість машини після n років експлуатації;

U_i – експлуатаційні витрати, включаючи ремонт в i -му році;

W_i – напруження машини в i -му році.

Ця формула поєднує в собі економічні показники (вартість життєвого циклу *LCC* у чисельнику), які приведені до технічних (обсяг виконаної роботи у знаменнику), що дає можливість комплексно оцінити техніко-економічні показники машин.

При придбанні нової машини порівнюють у якості можливої покупки дві або більше аналогічні моделі, в тому числі й моделі, що знаходяться в експлуатації (за наявності таких). Одну з моделей визначають базовою, наприклад, ту, що на перший погляд, найбільш цікава для придбання або ж ту, що вже експлуатується. Інші моделі в подальшому називаємо моделями порівняння.

На жаль, у більшості випадків відсутні точні значення величин, зазначених у формулі (9.1), що ускладнює достовірне визначення шуканого відносного параметру мінімуму витрат. Тому розглянемо

кожну складову формули з точки зору можливості отримання достовірних чисельних значень та їх використання при порівняльній оцінці машин. При цьому використовуємо не тільки абсолютні величини, а й відносні, що дає можливість коректно виконати порівняльну оцінку та отримати певний відносний показник техніко-економічної ефективності базової моделі та моделі порівняння. Період, який розглядається, рівний терміну корисної служби виробу.

Абсолютна величина вартості нового виробу (S_0) відома з процедури продажу/покупки.

Залишкова вартість виробу $S_n = S_0 \cdot f_S(t)$ після n років експлуатації визначається з ринкових пропозицій машин та обладнання, які були у вжитку. Також може бути прогнозована з власного досвіду або за результатами експертної оцінки.

Накопичені експлуатаційні витрати ($\sum_{i=1}^n U_i = f_U(t)$) за період експлуатації можуть бути отримані:

від компанії виробника у вигляді прогнозних значень LCC , що нині часто практикується;

за даними досвіду експлуатації аналогічного обладнання з внесенням корегувань у сторону збільшення/зменшення, коли враховують власний досвід чи експертні оцінки;

використовуючи результати багатьох досліджень у вигляді емпіричних формул.

Напрацювання обладнання ($\sum_{i=1}^n W_i$) за період експлуатації найкраще може бути опосередковано і коректно виражено коефіцієнтом готовності $k_r = f_k(t)$, який є одним з головних показників роботи машини, і в той же час є комплексним показником її надійності. Він відображає такі властивості машини, як ремонтпридатність, безвідмовність та довговічність.

Коефіцієнт готовності k_r визначається відношенням часу справної роботи до суми тривалості справної роботи й вимушених простоїв об'єкта, взятих за один і той же календарний термін. Ці дані можуть бути отримані:

- з даних досвіду експлуатації аналогічного обладнання з внесенням корегувань у сторону збільшення/зменшення, коли враховують власний досвід чи експертні оцінки;
- з використанням даних багатьох досліджень, як правило, у вигляді емпіричних формул;
- із загальновідомих залежностей для споріднених видів обладнання з їх корегуванням до наших умов.

Напрацювання обладнання не повною мірою відображає його технічні показники. Тому слід врахувати продуктивність обладнання, яка характеризується його технічним рівнем $k_{тр}$, якому для базової

моделі присвоюється значення I , а для моделей порівняння менше/більше одиниці, що відповідає нижчому чи вищому технічному рівню виробу. Береться з власного досвіду та/або за експертними оцінками.

$$\text{Отже} \quad \sum_{i=1}^n W_i \equiv k_{\text{тр}} k_{\text{г}} = k_{\text{тр}} f_k(t)$$

У результаті формула (9.1) набуває такого загального вигляду:

$$C(t) = (S_0 - S_0 f_S(t) + f_u(t)) / k_{\text{тр}} f_k(t) \quad (9.2)$$

Отримавши графічні залежності для двох чи більше порівнюваних аналогічних моделей, ми можемо побачити, що значення C при $t=0$ буде різним, як й різна динаміка зростання функції $C(t)$ кожної з моделей. Слід відмітити, що при $t=0$, функція $f_k(t)$ рівна одиниці.

При суміщенні графіків функцій спостерігається два випадки:

- графіки не перетинаються за розглядуваний період раціонального терміну корисної служби машини;
- графіки перетинаються, динаміка зростання функції з меншими початковими значеннями вища.

Якщо в першому випадку, безумовно, більш ефективною буде машина з нижчими початковими значеннями функції, то другий випадок, який трапляється в переважаючій більшості, підлягає додатковому аналізу за алгоритмом:

- визначаємо момент часу t , коли зрівнюються витрати на експлуатацію машин, виходячи з (9.2), для двох аналогічних видів машин;
- визначаємо площі під графіками (шляхом інтегрування функції (9.2) за весь період терміну корисної служби t), які характеризують накопичені витрати на придбання та експлуатацію машин. Порівнюємо їх між собою та оцінюємо, у скільки разів експлуатація одного виду машини ефективніша від його аналогу;
- те ж саме робимо за інші характерні періоди (наприклад, період виконання певного проекту тощо).

На основі цих значень (моменту зрівноваження накопичених витрат, приведених значень накопичених витрат за встановлений період та їх співвідношення для розглядуваних моделей) робиться висновок про доцільність та ефективність придбання тієї чи іншої машини. При цьому слід враховувати часові перспективи проекту, для виконання якого здійснюється придбання машини, – коротко-строкові чи довгострокові.

Методологія модернізації машин

Більшість підприємств експлуатує парки однотипного технологічного обладнання, середній вік якого перевищує 10, 20, 30 а то й 40 років. Такі парки характеризуються загальним незадовільним технічним станом обладнання, зниженням його експлуатаційної надійності і різким зростанням експлуатаційних витрат у часі. Збільшення обсягів ремонтних робіт призводить до частішого виводу обладнання з експлуатації, що вимагає додаткових капіталовкладень. Вартість ремонтів зростає з року в рік пропорційно фізичному зносу машин. І ростиме далі, якщо не вживати радикальних заходів по виходу із ситуації, що складається. Зрештою, експлуатація застарілої техніки перестає себе виправдовувати не тільки з точки зору витрат на ремонти, а й з огляду на те, що експлуатована техніка морально застаріла й не відповідає вимогам часу.

Світовий досвід показує, що проблема оновлення парку технологічного обладнання може бути вирішена як за рахунок постачання нового, так і за рахунок модернізації старого обладнання з продовженням терміну його служби. Стримуючим фактором на шляху швидкого оновлення парку за першим варіантом є те, що далеко не всі компанії можуть дозволити собі замінити старе обладнання новим. Тому оновлення парку за другим варіантом є перспективною альтернативою. Але це рішення вимагає проведення техніко-економічного аналізу щодо вибору оптимального варіанта модернізації та об'єднання зусиль усіх зацікавлених сторін (експлуатаційних підприємств, заводів-виробників обладнання, а за необхідності науково-дослідних та проектно-конструкторських центрів).

Застосування сучасних технологій у модернізованому парку обладнання вимагає нових підходів до технічного обслуговування й ремонту, забезпечення матеріалами й запасними частинами. Для роботи на оновленій техніці потрібні якісно інші знання й навички. У цьому сенсі модернізація мало чим відрізняється від переходу на принципово нову техніку. Як і будь-яке технічне переозброєння, модернізація вимагає значних скоординованих зусиль всіх учасників цього процесу: замовників, виробників, постачальників.

У випадку високої ціни інвестиційних проектів при оновленні парку обладнання заходи щодо його модернізації повинні бути попередньо ретельно проаналізовані з точки зору економічної ефективності. У Європі, США та багатьох інших країнах оновлення дорогих парків обладнання (як придбанням нового, так і шляхом модернізації старого) здійснюється на тендерній основі. При проведенні

тендерів одним із найважливіших критеріїв оцінки пропозицій, що надійшли, є показник вартості життєвого циклу виробу, що дозволяє ефективно оцінювати й контролювати реальні витрати й управляти ними. Цей показник зобов'язує вести комплексний облік всіх відповідних витрат від початку розробки виробу до його утилізації. Економічна оцінка альтернатив за критерієм найменшої вартості життєвого циклу є більш ефективною й прозорою, ніж за такими критеріями, як чиста поточна вартість, коефіцієнт ефективності, внутрішня норма прибутку чи термін окупності.

Прийняття рішення з модернізації й визначення її обсягу передувє аналіз таких особливостей і властивостей парку обладнання та експлуатаційного підприємства загалом:

- вік, кількість, поточний і прогнозований технічний стан;
- надійність, конструктивні особливості;
- умови й витрати енергоспоживання;
- вид і витрати експлуатаційних матеріалів;
- кваліфікація і досвід обслуговуючого персоналу (експлуатаційного, ремонтного), умови його роботи;
- стратегія *TOiP*, витрати на його проведення, доступності запасних частин і їх ціни;
- оснащеність ремонтно-технічної бази підприємства;
- наявність необхідної технічної й технологічної документації;
- вплив на навколишнє середовище;
- відповідність вимогам чинних стандартів;
- дотримання умов безпеки праці тощо.

Головною метою модернізації обладнання є:

- підвищення експлуатаційної ефективності;
- зменшення експлуатаційних витрат;
- поліпшення експлуатаційних характеристик;
- зменшення негативного впливу на навколишнє середовище;
- пристосування техніко-експлуатаційних параметрів до вимог діючих норм і правил;
- продовження терміну служби;
- поліпшення умов праці обслуговуючого персоналу;
- забезпечення легкості в *ТО* й ремонті;
- підвищення безпеки експлуатації;
- уніфікація вузлів.

Реалізація модернізації парку обладнання передбачає вирішення таких основних завдань:

- проведення аналізу технічного стану парку однотипного технологічного обладнання, визначення світової тенденції його оновлення;

- розробка технічних вимог, що пред'являються до вузлів, агрегатів, систем і конструкторських рішень обраного для модернізації обладнання;
- проведення аналізу *LCC* для обґрунтування альтернативних рішень (варіантів) модернізації обладнання;
- застосування в обчисленнях складових величини *LCC* математичного моделювання робочих процесів обладнання;
- визначення виду та обсягу доцільної модернізації шляхом варіювання *LCC* залежно від обраної комплектації;
- пропозиція програми модернізації парку обладнання.

Узагальнено сформулюємо методологію визначення ефективності та доцільності модернізації парку обладнання на основі аналізу вартості його життєвого циклу (*LCC*). Як правило приймається, що до і після модернізації обладнання працює в однакових умовах. Тому аналіз *LCC* полягає в порівнянні економічних витрат, отриманих під час експлуатації серійного обладнання, до витрат, отриманих після його модернізації. Якщо при модернізації істотно змінюються характеристики обладнання, а отже, і його продуктивність, то необхідно використовувати поняття приведеної вартості життєвого циклу до одиниці виробленої продукції (виконаної корисної роботи).

У цій методології виділяють шість основних етапів.

Перший етап. Розробка завдань і визначення вихідних даних, які необхідні для подальшого аналізу:

- ідентифікація конструктивних особливостей;
- оцінка терміну служби;
- ідентифікація умов, часу й інтенсивності експлуатації;
- оцінка енергоспоживання, витрат технологічних рідин і допоміжних матеріалів тощо;
- встановлення вимог обладнання – обсягів виконання *TOiP*, трудомісткості, ціни на запасні частини, матеріали і таке інше.

Другий етап. Визначення основних показників надійності, наприклад, з використанням аналізу *RAM* (*Reliability, Availability, Maintainability* – з англ. надійність, готовність, ремонтпридатність), достатніх для її визначення. Наприклад, інтенсивність відмов, напруцювання на відмову, час між відмовами, коефіцієнт готовності, час відновлення, час до відновлення тощо.

Третій етап. Розробка нової або вибір існуючої моделі оцінки життєвого циклу, яка повинна містити:

- структуру розподілу витрат, тобто декомпозицію категорій витрат на складові;
- структуру технічної системи, що підлягає модернізації;
- оцінку елементів і параметрів витрат.

Четвертий етап. Аналіз прийнятої моделі *LCC* – розрахунок усіх статей витрат, включених у модель та ідентифікація переважаючих витрат у *LCC*.

Розрахунки величини *LCC* зазвичай проводяться для всього періоду розрахункового ресурсу обладнання. Додатково на цьому етапі необхідно провести аналіз чутливості впливу зміни параметрів й елементів витрат у *LCC*.

П'ятий етап. Перегляд і показ результатів аналізу *LCC* з метою проведення оцінки всіх категорії витрат життєвого циклу для вибору найбільш прийняттого варіанта поставки одиниці обладнання. Результати розрахунку представляють, наприклад, у вигляді основних витрат для кожного року життєвого циклу. Показ витрат по роках стосовно серійного й модернізованого обладнання дає можливість детально аналізувати всі складові витрат, оцінювати вплив різних чинників на їх величину, що необхідно для вироблення заходів щодо підвищення економічної ефективності системи експлуатації та ремонту.

Шостий етап. Верифікація розробленої моделі й самого аналізу *LCC* на основі результатів експлуатації обладнання за певний проміжок часу, в якому накопичуються експлуатаційні дані – реальні витрати. На основі цих витрат визначають фактичну величину *LCC* і дають оцінку правильності й точності виконаних розрахунків витрат, зазначених у моделі *LCC*.

Слід зазначити, що на даний час не існує єдиної детальної стандартної методики оцінки вартості життєвого циклу обладнання, хоча показник *LCC* є найбільш об'єктивно вартісним показником для більшості техніки. У нормативних документах Євросоюзу та інших країн часто акцентується увага на питання, які стосуються життєвого циклу обладнання, а також наводяться загальні рекомендації проведення аналізу *LCC*. Наукові організації або виробники різних країн по-своєму тлумачать поняття «вартості життєвого циклу», а отже, й по-своєму розраховують його вартість. Багато наукових організацій, що займаються питаннями *LCC* виробів, а також виробники обладнання, розробляють спеціальне програмне забезпечення щодо оцінки життєвого циклу техніки. Наприклад, фірма Systecon протягом останніх десятиліть є піонером у Європі щодо розвитку методів та інструментів по *LCC*, які знаходять широке застосування багатьма виробниками Європи різних галузей промисловості. Розроблений ними продукт дозволяє проводити оцінку життєвого циклу різноманітних технічних систем. Він містить набір стандартних шаблонів структур *LCC* виробів і систем, за допомогою яких користувач може легко пристосувати її для потреб конкретного проекту.

9.3 ПІДТРИМАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ

фактори впливу та інциденти; стратегії технічного обслуговування й ремонту машин; організація життєвого циклу машини; облік роботи машин; ремонтний вплив на готовність машин; утилізація машин

На завершальному етапі творення машини розробляють ремонтну документацію, яка служить для підготовки ремонтного виробництва, організації та виконання ремонту і контролю відремонтованих виробів. Вказані в документації відомості повинні бути достатні для раціонального та правильного виконання ремонтів обладнання. Ці відомості базуються: на робочій конструкторській документації; результатах досліджень несправностей що виникали при випробуванні нової машини та прогнозуванні показників її надійності; на інформації про несправності при експлуатації аналогічних машин та аналізі показників їх надійності. На їх основі здійснюється управління технічним станом машини на етапі експлуатації.

Управління технічним станом машин полягає в обґрунтуванні й призначенні видів і періодичності їх технічного обслуговування, видів і методів ремонту, критеріїв граничного стану, ступеня відновлення технічного ресурсу складових частин, тривалості експлуатації до списання тощо. Мета управління технічним станом – підтримати надійність об'єкта на заданому рівні. Таким чином, управління технічним станом машини безпосередньо пов'язане з системою технічного обслуговування й ремонту – технічного впливу на об'єкт із метою забезпечення сталої роботи машин, підтримки їх належного технічного стану й підвищення експлуатаційної надійності.

Фактори впливу та інциденти

Процес управління технічним станом машин розпочинають із аналізу організаційних факторів, які впливають на рівень надійності техніки та їх стан. Далі ці фактори зведені для зручності в окремі системи.

Система управління:

- структура та застосування сучасних методів управління;
- процедура збору, опрацювання, оперативність надходження та системність інформації;
- самостійність та виконавча дисципліна фахівців;
- рівень кооперації (галузевий, територіальний).

Система контролю якості:

- якість запасних частин та матеріалів;
- якість виконання робіт;
- дотримання графіків обслуговування.

Система ТОiP:

- досконалість та гнучкість стратегії *ТОiP* (пристосованість до технічного стану);
- адаптивність системи *ТОiP* (при зміні умов експлуатації, конструкції тощо);
- автоматизація процесів планування та управління.

Система технічного забезпечення:

- сучасність та покриття всього спектру засобів технологій ремонту (забезпеченість та сучасний рівень діагностичного, ремонтного обладнання, засобів механізації праці тощо);
- оптимальний запас матеріалів, запчастин, вузлів та агрегатів;
- потужність та спеціалізація ремонтної бази виробничого обслуговування;
- використання послуг спеціалізованих компаній з *ТОiP*.

Система експлуатації машин:

- використання машин з врахуванням їх технічного стану, віку та умов експлуатації;
- резервування машин.

Система управління персоналом:

забезпеченість кадрами;

- кваліфікація кадрів;
- стабільність та трудова дисципліна колективу;
- стимулювання праці.

Після визначення «слабких» місць у організації технічної експлуатації машин вносять корективи та адаптують елементи факторів впливу до конкретних умов підприємства.

При управлінні технічним станом машин використовують аналіз інцидентів. Інцидент – це будь-яка ситуація, відмінна від нормальної експлуатації машин: порушення режиму експлуатації (перевищення встановлених заводом-виробником гранично допустимих параметрів експлуатації вузлів і деталей), передвідмовний стан, усунення якого набагато дешевше, ніж відновлення після відмови. Неплановий ремонт також є окремим випадком інциденту. З метою зручності управління процесом недопущення можливих інцидентів запропоновано таку їх класифікацію:

- конструктивні – пов'язані із конструктивними недоліками, закладеними раніше і які вимагають зміни чи доопрацювання конструкції технічної системи;
- виробничі – виникають при не забезпеченні в справному стані й в необхідній кількості технологічного обладнання;
- експлуатаційні – виникають через порушення режимів експлуатації, несправності взаємопов'язаних технічних систем,

- інших порушень, допущених персоналом;
- деградаційні – обумовлені природними процесами старіння, зношування, корозії і втоми при дотриманні всіх встановлених норм і правил проектування, виготовлення, ремонту й експлуатації;
- технологічні – виникають внаслідок недоліків технологічного процесу ремонту (помилка у виборі розмірів, допусків, операцій і режимів);
- комплектаційні – виникають через відсутність у необхідній кількості й відповідної якості запасних частин і матеріалів;
- форс-мажорних обставин – інциденти, спричинені стихійними лихами, катастрофами;
- не встановлені – інциденти, причина яких не визначена й вимагає додаткового дослідження та експертизи, або інцидент, в ході якого пошкоджений вузол повністю знищений.

Стратегії технічного обслуговування й ремонту машин

Під стратегією технічного обслуговування і ремонтів (*TOiP*) мається на увазі узагальнююча модель дій, необхідних для досягнення поставлених цілей шляхом координації та розподілу відповідних ресурсів підприємства. По суті, стратегія *TOiP* є набір правил для прийняття рішень, якими ремонтна служба підприємства керується в своїй діяльності щодо забезпечення працездатності обладнання. Стратегії *TOiP* машин склалися десятиліттями. Пройшовши довгий шлях розвитку від ремонту за фактом відмови до індивідуальних, побудованих на комп'ютерній діагностиці систем, вони і нині продовжують зазнавати суттєвих змін. На практиці керуються рекомендаціями заводів-виробників, проектних, науково-дослідних та інших організацій, готовими програмними засобами. Завдання експлуатаційників зводяться до правильної організації системи підтримки працездатності машин, надаючи перевагу рекомендаціям виробників і постачальників техніки як виконавцям гарантійних та іміджевих зобов'язань.

Як уже наголошувалось, більшість підприємств нині експлуатують парки обладнання, що мають широку номенклатуру і різний віковий склад машин. Тому до різного типу машин та їх вікової групи раціонально застосовувати й різні стратегії технічної експлуатації. Стосовно машин в гарантійному періоді експлуатації потрібно чітко дотримуватись інструкцій виробника. Техніка, піднаглядна державним наглядовим органам, повинна обслуговуватися відповідно до нормативних актів Держпраці тощо. Технічна експлуатація решти машин ведеться відповідно до нормативних документів,

заводських інструкцій, рекомендацій, норм та правил, у яких часто недостатньо передбачено коригування режимів технічних заходів щодо застосування техніки з урахуванням її віку.

У більшості рекомендацій з експлуатації та *ТОiP* машин не враховані інтенсивність та характер роботи, характер впливу віку техніки на параметри системи *ТОiP*. Зазвичай, пропонується лише один метод побудови системи *ТОiP* – метод планово-попереджувальних ремонтів (*ППР*) з елементами діагностування, тобто з урахуванням технічного стану окремих систем машини.

У управлінському та організаційному планах недосконалість системи технічної експлуатації виражається у:

- виборі неефективної стратегії забезпечення працездатності, що не враховує специфіку умов використання кожної одиниці техніки, часто передбачає обслуговування машин за фактом відмови;
- відсутності моделювання та оптимізації виробничих процесів;
- слабкій взаємодії підрозділів підприємств унаслідок відсутності належного інформаційного забезпечення управлінських процесів;
- недостатньому рівні контролю якості проведення *ТОiP*;
- недостатньому використанні можливостей кооперації з іншими підприємствами з питань сервісу й ремонту техніки.

Існують різні підходи до класифікації стратегій *ТОiP* за певними характерними показниками. Найбільш поширена класифікація стратегій технічного обслуговування та ремонту машин поділяє їх на два види: аварійно-відновлювані та профілактичні. Другий вид стратегії розрізняють ще й за характером профілактичних заходів (рис. 9.1).

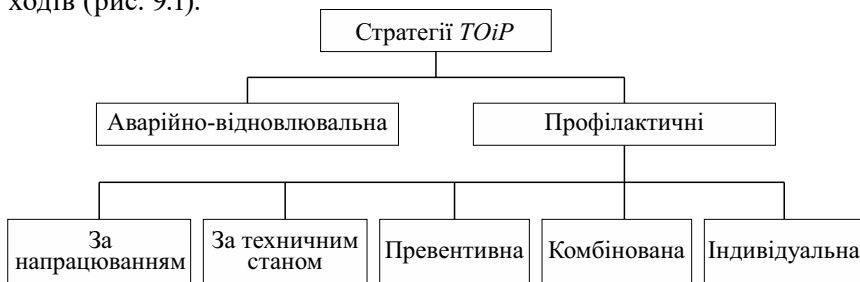


Рисунок 9.1 – Класифікація стратегій *ТОiP*

Розглянемо детальніше суть окремих видів стратегій *ТОiP* за класифікацією, приведеною на рисунку 9.1.

Аварійно-відновлювальна стратегія

При аварійно-відновлювальній стратегії (після відмови машини) система ремонтного впливу є найпростішою формою заходів при плануванні робіт. Обслуговування машини зводиться до заміни масел, заправки паливо-мастильними матеріалами та усунення дрібних неполадок, як правило, оператором. У разі більш серйозної відмови здійснюють заявочний, а по суті неплановий, ремонт. Застосування аварійно-відновлюваної стратегії характерне для підприємств з нерозвинutoю системою технічної експлуатації. Недоліки цієї стратегії полягають у тому, що вона:

- не попереджує відмову машини і тим самим не виключає можливість аварії;
- не дозволяє планувати роботу ремонтних служб;
- супроводжується супутніми відмовами, трудомісткість і вартість усунення яких значно збільшує вартість ремонту машини;
- не забезпечує необхідний рівень надійності і безпеки машин.

Профілактичні стратегії

Ці моделі дій передбачають планове проведення ремонтних впливів із встановленою періодичністю для попередження виникнення відмов машини в процесі роботи. Тому їх часто називають планово-попереджувальними. Це більш прогресивні стратегії в порівнянні з аварійно-відновлювальними. Їх зручно класифікувати за технічними оцінками або характером профілактичних заходів (рис. 9.1).

За напрацюванням. Тут можливі два варіанти підходу до планування *ТОiP*: за плановим або фактичним напрацюванням.

У першому випадку – це система планово-попереджувальних ремонтів (*ППР*), що поширена на вітчизняних підприємствах. Плановою вона називається тому, що терміни постановки на огляди та ремонти плануються, а попереджувальною – тому що спрямована переважно на попередження виникнення несправностей.

У другому випадку потрібна налагоджена система збору та обробки експлуатаційної інформації з метою коригування плану ремонтних впливів залежно від фактичного напрацювання машин.

Профілактична стратегія *ТОiP* за фактичним напрацюванням обов'язково застосовується для машин, що знаходяться на гарантійному і сервісному обслуговуванні, а також піднаглядних державним наглядом органам.

Проведення ремонтних впливів за напрацюванням не передбачає оцінки фактичного стану машини в цілому та її окремих вузлів. Відповідним чином планова заміна деталей, вузлів та агрегатів призводить до того, що закладений у конструкцію ресурс реалізується іноді лише на 40...60%. Надлишкові ресурси для виконання

ремонтних впливів та значний залишковий ресурс замінних елементів великою мірою знижують ефективність технічної експлуатації машин.

Ця стратегія не виключає можливості виникнення відмов машини в процесі роботи, оскільки зміна її технічного стану може відбуватися більш інтенсивно, ніж в інших машин.

За технічним станом. Стратегія профілактичного *ТОiP* за фактичним станом позбавлена перерахованих вище недоліків. Періодичний контроль технічного стану машини за основними діагностичними параметрами дозволяє організувати своєчасне проведення ремонтних впливів і не тільки запобігти відмовам окремих складових частин, а й підвищити рівень надійності машини загалом. Проведення профілактичних ремонтних впливів відповідно до фактичної потреби машини виключає надлишкові ремонтні операції, за рахунок цього зменшуються витрати на їх проведення.

Ця стратегія є прогресивною, але й доволі складною з точки зору організації виконання заходів *ТОiP*.

Превентивна. Ця стратегія містить риси двох попередніх стратегій – за напрацюванням та за технічним станом. Вона передбачає проведення технічних впливів в інтервалі між періодами інтенсивного використання техніки, протягом яких технічні впливи повинні бути зведені до мінімуму. Мета даної стратегії – забезпечити необхідний рівень надійності машини протягом тривалого визначеного періоду часу (наприклад, буріння свердловини буровою установкою, збирання врожаю сільськогосподарською технікою тощо). Застосування цієї системи доцільне для техніки, що виконує цикл робіт протягом певного періоду або працює сезонно, особливо в умовах територіальної віддаленості від ремонтних баз. Основна складність у застосуванні превентивної профілактичної стратегії полягає у визначенні залишкового ресурсу вузлів машини, достатнього для забезпечення безвідмовної роботи протягом заданого періоду часу.

Комбінована. Комбінована стратегія застосовується у випадках, коли неможливо або недоцільно дотримуватися якоїсь однієї стратегії. Наприклад, якщо експлуатаційне підприємство не має можливості оцінювати (діагностувати) технічний стан деяких основних вузлів машини. При цьому частина агрегатів буде обслуговуватися за напрацюванням, а частина – за технічним станом. Фактично всі стратегії *ТОiP* деякою мірою є комбінованими, тому що завжди є вузли, технічний стан яких неможливо діагностувати, а частину деталей доцільно замінювати тільки за фактом відмови.

Індивідуальна. Вершиною розвитку стратегій *ТОiP* є індивідуальна, оптимально побудована для кожної конкретної (окремої)

машини. Критеріями оптимальності є показники надійності (коефіцієнт готовності, ймовірність безвідмовної роботи, напрацювання на відмову тощо), технічні характеристики (наприклад, продуктивність), економічні показники (мінімум експлуатаційних витрат, максимум прибутку), питання безпеки, екологічності тощо. Самі ж критерії, а також їх значення змінюються в міру старіння машини як фізичного, так і морального. Відповідно корегують і режими *TOiP*. При корегуванні періодичність технічного впливу рекомендують визначати за певним критерієм, що змінюється в часі використання машини.

Обсяг операцій технічного впливу встановлюють залежно від інтенсивності зміни показників і властивостей деталей, вузлів, експлуатаційних матеріалів.

Для широкого впровадження індивідуальної системи *TOiP* в галузь, в якій використовується широка номенклатура різновікової техніки, необхідно:

- встановити критерії оптимального формування системи *TOiP* для кожної конкретної машини (групи машин), наприклад, мінімальні питомі витрати за термін служби;
- встановити зв'язок між показниками машини (наприклад, коефіцієнтом готовності) і обраним критерієм оптимальності;
- визначити оптимальний рівень показників працездатності залежно від ступеня відповідальності виконуваної роботи (за рівнем надійності, можливого збитку при раптових відмовах тощо);
- визначити шляхи забезпечення необхідного рівня характерних показників;
- побудувати систему збору та обробки експлуатаційної інформації для планування заходів *TOiP*;
- побудувати оптимальну структуру *TOiP* для конкретного експлуатаційного підприємства.

Повномасштабне застосування індивідуальної стратегії в даний час проходить період свого становлення та розвитку. Найбільший досвід застосування моделі цієї стратегії спостерігається в авіаційній галузі.

Організація життєвого циклу машини

Основною відмінною рисою різних систем організації життєвого циклу машин є характер взаємної причетності творця, виробника і користувача машини на різних етапах її життя: проектування, виготовлення, транспортування, монтаж, пусконаладження, експлуатація (в тому числі обслуговування та ремонт) та утилізація.

Тотальна система. При тотальній системі всі етапи життєвого циклу машин (від проектування до утилізації машини) пов'язані організаційно й економічно єдиним органом. Застосування такої системи було можливе в нашій країні за часів СРСР, коли проектування, виробництво продукції, використання й обслуговування машин було в руках держави, яка регламентувала рівень доходу. Держава формувала не тільки єдину стратегію виробництва, споживання й обслуговування машин, але й забезпечувала, на її погляд, оптимальний розподіл ресурсів, при якому задоволення потреб держави в послугах певних машин здійснювалося найбільш ефективним шляхом.

Зі збільшенням терміну служби машин зростають виробничі фонди, необхідні для забезпечення парку машин ремонтом і обслуговуванням. Тобто зростають виробничі фонди ремонтного виробництва та фонди машинобудівної промисловості, які використовуються для виготовлення запасних частин. При цьому зменшуються виробничі фонди машинобудування, які націлені на виробництво нових машин.

Зі збільшенням терміну служби машин сумарна величина виробничих фондів машинобудівної промисловості й ремонтного виробництва не залишається постійною, а істотно змінюється, досягаючи при певному терміні служби машини мінімальної величини. Цей термін служби машини і відповідає мінімальному значенню капітальних вкладень у виробничі фонди машинобудівної промисловості й ремонтного виробництва.

Фірмова система. За наявності єдиної ланки, що об'єднує процеси проектування, виробництва, обслуговування й ремонту, формується фірмова система життєзабезпечення машини. При цій системі експлуатаційна організація (користувач) практично звільняється від задач організації ремонту.

У міру того, як експлуатаційні компанії прагнуть скоротити витрати на експлуатацію машин в розрахунку на весь термін служби і при цьому забезпечити його високу експлуатаційну готовність і надійність, вони намагаються перекласти відповідальність за технічний стан на заводи-виробники, яким доручається її фірмове обслуговування, причому все це передбачається ще в процесі підготовки контракту на поставку нових машин.

Послуги з фірмового технічного обслуговування й ремонту машин на контрактних засадах поступово стають визначальним чинником внутрішньовидової та міжвидової конкуренції на виробництвах багатьох галузей промисловості. У багатьох країнах світу (перш за все в Європі й Північній Америці) експлуатаційні

організації надають перевагу комерційним, організаційним і маркетинговим сторонам діяльності, а технічне обслуговування і ремонт обладнання делегують компаніям, які мають достатній досвід і компетенції в цій галузі.

Для розширення ринку збуту продукції організації-виробники створюють дочірні підприємства та дилерські фірми. У їх функції входить маркетинг, передпродажна підготовка та продаж техніки, сервісне обслуговування, постачання запчастинами, здебільшого також і капітальний ремонт машин. Ці дочірні та дилерські компанії в значному обсязі забезпечуються розробником та виробником машин робочою конструкторською документацією. Це дає їм суттєві переваги на ринку та забезпечує високу якість послуг.

При фірмовій системі організації життєвого циклу машин основний обсяг витрат користувача складають експлуатаційні витрати й витрати на обслуговування машини в післягарантійний період. Причому ці витрати зменшуються за рахунок того, що користувачу не доводиться розвивати власну виробничо-експлуатаційну базу для виконання всіх видів робіт з *ТОiP*. використовуючи при цьому потужності виробника. Ця система є перспективною, особливо для організацій, що експлуатують зарубіжну техніку.

Фірмові сервісні компанії переважно:

- організовують, управляють і контролюють процес *ТОiP*;
- організовують матеріально-технічне забезпечення запасними частинами і матеріалами;
- усувають раптові відмови;
- забезпечують гарантійні терміни обслуговування машин;
- займаються підготовкою й перепідготовкою кадрів.

Світовий досвід показує, що найбільш успішною є модель, при якій основну відповідальність за справний стан протягом усього терміну служби складної технічної системи несе його виробник (так звана відповідальність протягом усього життєвого циклу виробу) – зазвичай, його сервісний підрозділ. Цей підхід дозволяє комплексно розв'язувати завдання вдосконалення вузлів та агрегатів технічної системи, підвищення її надійності при експлуатації, поставки виробником сучасного технологічного обладнання та оснащення.

Таким чином, сервісна система технічного обслуговування й ремонту обладнання знайшла широке застосування за кордоном, як основна форма господарювання в багатьох галузях промисловості.

Диференційована система. Передбачає роздільне функціонування кожної зі служб, яка формує життєвий цикл машини. При

цій схемі служби не пов'язані між собою організаційно й економічно. У цьому випадку завод-виробник знімає з себе функції надання послуг супроводу, делегує функції передпродажної підготовки, гарантійного й післягарантійного обслуговування посередникам.

Однак при цьому ускладнюється визначення ефективності та впливу оптимізації витрат в окремо взятих елементах системи життєзабезпечення на загальний результат від експлуатації машин. Кожен із учасників формує свою модель оптимізації витрат на певний етап життєвого циклу, що не завжди збігається з цільовою функцією використання машин – мінімізацією витрат за весь життєвий цикл машини.

Так, наприклад, випуск машин підвищеної надійності вимагає збільшення витрат у процесі їх проектування. З іншого боку, зменшення витрат на проектування і виготовлення машини призводить до зниження її надійності й збільшення витрат у сфері використання. Якщо формування системи життєвого циклу здійснюється за диференційованою схемою, то проектувальник і виробник машини мають можливість зменшити витрати на її проектування і виготовлення, знижуючи надійність. Все це призводить до розбалансування загальної системи життєвого циклу і зростання загальних сумарних витрат. І в результаті втрачається можливість управляти ресурсами і якістю машин.

Змішана система. Крім розглянутих, використовуються ще й змішані системи організації життєвого циклу машин.

Наприклад, створення заводом-виробником дилерської мережі призвело до виникнення системи, яка передбачає виконання дилером робіт з *ТОiP* машини в повному обсязі. Ця система організації найбільш прийнятна для користувача, оскільки не вимагає створення експлуатаційним підприємством власної виробничо-експлуатаційної бази та дозволяє виробнику забезпечити високу якість ремонту, тому що основу технологій ремонту машини складатимуть технологічні процеси її виробництва.

У такій ситуації для користувача машин ця система надає всі переваги, властиві тотальній і фірмовій системі.

Також часто об'єднують в єдиний блок процеси проектування та виготовлення машини. Ремонт при цьому виділяється в окрему від експлуатації сферу виробництва. Це передбачає розробку технологій обслуговування та ремонту на основі ремонтно-технологічної документації виробника машини. Ця документація є обов'язковою послугою, що супроводжує її виробництво, складовою й обов'язковою частиною конструкторської документації, оскільки від якості ремонтної документації й її змісту залежить ефективність використання машини.

Відокремлена система. Ця система організації життєвого циклу передбачає повне відокремлення процесу використання (експлуатації) машин від їх виробництва, тобто в цьому випадку користувач сам формує виробничо-експлуатаційну базу і виконує весь обсяг робіт з *ТОiP* (за винятком *ТОiP* в гарантійний період). Однак і в цьому випадку розробку технології обслуговування й ремонту здійснюють на основі ремонтно-технологічної документації виробника машини.

Дві останні системи організації життєвого циклу нині широко застосовуються вітчизняними промисловими організаціями.

Комбінована система. В умовах недостатньої кількості спеціалізованих підприємств експлуатаційне підприємство не може бути забезпечене необхідним обсягом послуг з *ТОiP*. У такому випадку воно змушене формувати власну виробничо-експлуатаційну базу для виконання певного обсягу ремонтних робіт. Одночасно воно використовує виробничі потужності виробника машин або спеціалізованих ремонтних підприємств для виконання складних ремонтних робіт.

Такі системи організації життєвого циклу можна назвати комбінованими. Рівень інтеграції в цих випадках може змінюватися в широких межах – від залучення посередника (виробника послуг) на весь обсяг ремонтно-обслуговуючих робіт до виконання підприємством-користувачем машин повного обсягу робіт з *ТОiP* власними силами.

Комбіновані системи досить широко застосовуються на виробництві. Користувач машин найчастіше власними силами виконує технічне обслуговування та поточні ремонти, а капітальний ремонт здійснює на спеціалізованих ремонтних підприємствах.

Облік роботи машин

Облік роботи машини дає можливість кількісно оцінити ефективність експлуатаційного парку машин. Цей показник визначається відношенням напрацювання машин до витрачених ресурсів. Розглянемо процес формування напрацювання, виходячи із календарного фонду (тривалості планованої експлуатації) та системі показників, що характеризують процес технічної експлуатації машин.

Для формалізації показників, що характеризують тимчасові стани парку машин, розглянемо граф можливих станів (рис. 9.2), в яких може перебувати машина.

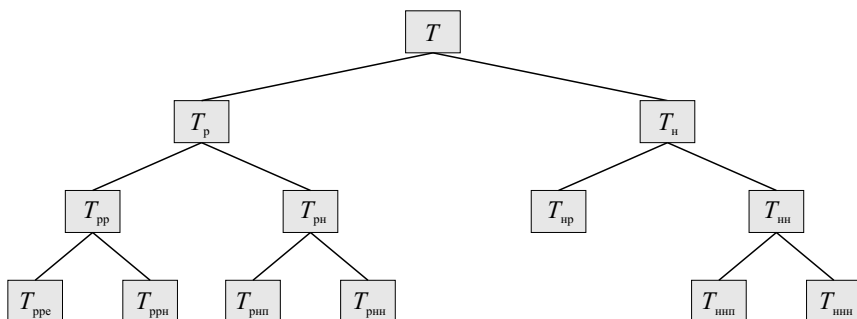


Рисунок 9.2 – Графи можливих станів машини в процесі її експлуатації

T – календарна тривалість планованої експлуатації; T_p – робочий час;
 T_n – неробочий час; T_{pp} – в робочий час працездатна машина; T_{pn} – в робочий час непрацездатна машина; T_{nr} – в неробочий час працездатна машини; T_{nn} – в неробочий час непрацездатна машина; T_{ppr} – в робочий час працездатна машина експлуатується; T_{ppn} – в робочий час працездатна машина не експлуатується; T_{pnp} – в робочий час машина непрацездатна й знаходиться в плановому ТОiP; T_{pnn} – в робочий час машина непрацездатна й знаходиться в неплановому ТОiP; T_{nnp} – в неробочий час машина непрацездатна й знаходиться в плановому ТОiP; T_{nnn} – в неробочий час машина непрацездатна й знаходиться в неплановому ТОiP

Декомпонування стану машин в часі (рис. 9.2) можна продовжити. Наприклад, стан T_{ppr} , коли в робочий час працездатна машина експлуатується, можна розділити на періоди роботи з різними експлуатаційними умовами (інтенсивної і неінтенсивної), або стан T_{ppn} , коли в робочий час працездатна машина не експлуатується, можна декомпонувати за причинами простоїв (наприклад відсутність замовлень, погодні умови, очікування прийняття рішень менеджментом компанії тощо). Стан T_{pnp} , коли в робочий час машина непрацездатна й знаходиться в плановому ТОiP, можна декомпонувати за видом робіт (діагностування, технічне обслуговування, ремонт тощо). Причинами непланових простоїв через непрацездатність машини в робочий час (T_{pnn}) можуть бути конструктивні недоліки машини, помилка оператора, фізичне старіння машини, недоліки в технічній експлуатації тощо. Деталізація станів машини в часі, на основі їх аналізу, дає можливість розробляти більшу кількість заходів із забезпечення працездатності.

Виходячи із схеми графів можливих станів машини, можна розрахувати показники – коефіцієнти її технічного використання $k_{ТВ}$ та готовності k_T :

$$k_{ТВ}(t) = \frac{T_{pp}(t)}{T_p} = \frac{T_{pp}(t)}{T_{pp}(t) + T_{pnn}(t) + T_{pnp}(t)} \quad (9.3)$$

$$k_r(t) = \frac{T_{pp}(t)}{T_p - T_{rnp}(t)}, \quad \text{або } k_r(t) = \frac{T_{pp}(t)}{T_{pp}(t) + T_{rnn}(t)}. \quad (9.4)$$

А також коефіцієнт запланованого використання

$$k_{пв}(t) = \frac{T_p - T_{rnp}(t)}{T_p}. \quad (9.5)$$

На основі формул (9.3 – 9.5)

$$k_{тв}(t) = k_r(t)k_{пв}(t), \quad (9.6)$$

Оцінити роботу комерційної служби можна за допомогою коефіцієнта використання працездатних машин, який показує наскільки задіяні справні машини

$$k_{впр}(t) = \frac{T_{пре}(t)}{T_{pp}(t)}. \quad (9.7)$$

Роботу ремонтних служб оцінюють за допомогою таких коефіцієнтів:

простою в планових $TOiP$ в робочий час

$$k_{рпп}(t) = \frac{T_{рпп}(t)}{T_p}; \quad (9.8)$$

простоїв в непланових $TOiP$ в робочий час

$$k_{рnn}(t) = \frac{T_{рnn}(t)}{T_p}; \quad (9.9)$$

простоїв в планових і непланових $TOiP$ в робочий час

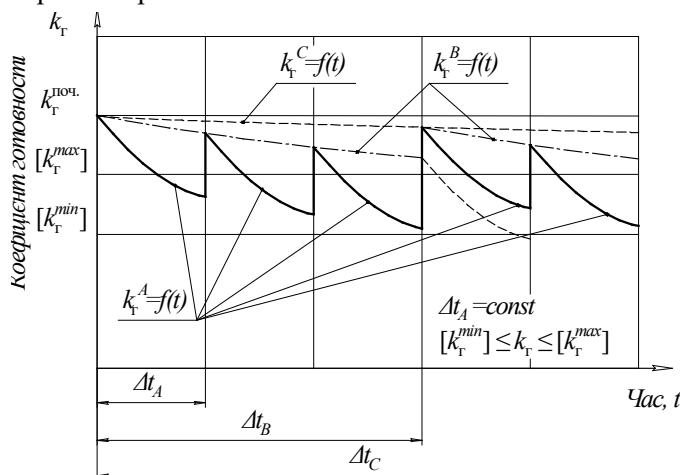
$$k_{рн}(t) = \frac{T_{рн}(t)}{T_p} = k_{рпп}(t) + k_{рnn}(t). \quad (9.10)$$

Використання цих коефіцієнтів дає можливість не тільки якісно, а й кількісно оцінити роботу як комерційних так і технічних служб підприємства, розробити та впровадити заходи з покращення системи технічної експлуатації машин загалом.

Ремонтний вплив на готовність машин

Разом з творенням машини розробляють і структуру її ремонтного циклу, яка рекомендується користувачу техніки і є обов'язковою до виконання в гарантійний період її експлуатації. Структура ремонтного циклу передбачає в процесі експлуатації машини періодичне відновлення її працездатності технічним впливом різного

Нижче наведено графічні зображення двох стратегій ремонтів за критерієм постійного міжремонтного періоду (рис. 9.3) та критерієм граничного коефіцієнту готовності (рис. 9.4), які ілюструють зміну технічної готовності машини в часі при виконанні ремонтів різного рівня.



криві змін технічного стану машин при виконанні

377

Проте кожна із прийнятих стратегій повинна бути технічно і економічно обґрунтована.

Утилізація машин

Поводження з відходами виробництва в останні десятиліття перетворилося на загальносвітову проблему, яка таїть в собі загрозу всьому людству. Забруднення навколишнього середовища промисловими відходами порушує екологічну рівновагу не тільки в окремих регіонах, але і в цілому на планеті.

Зміні ставлення до відходів сприяв технічний прогрес. Він призвів до різкого зростання різних видів техніки, для виготовлення якої використовується все більше матеріалів. А в міру старіння і виведення з експлуатації техніка стає відходами. Таким чином такі темпи зростання, з одного боку – вимагають видобутку все більших обсягів первинних природних ресурсів, що призводить до їх виснаження, а з іншого – призводять до виникнення великої кількості відходів особливого роду, які за багатьма показниками суттєво відрізняються від твердих побутових відходів.

Все це вплинуло на зміну ставлення до відходів. Відходи, що утилізуються, з одного боку є серйозним джерелом забруднення, з другого – вони є невичерпним джерелом ресурсів. Адже в відходах є велика кількість компонентів, для яких можуть застосовуватися два варіанти повторного використання: за прямим призначенням або після переробки.

При використанні першого варіанту компоненти відходів після підготовки, в процесі якої проводяться певні технологічні операції (мийка, сортування та інші) використовуються повторно за прямим призначенням в тому вигляді, в якому вони були вилучені з відходів, наприклад, деталі техніки, вилучені після виведення її з експлуатації.

Різновидом цього варіанту є використання компонентів відходів за прямим призначенням після відновлення їх геометричних і технічних параметрів, наприклад, використання ремонтпридатних деталей машин, що мають незначний знос, за умови, що відновлення їх експлуатаційних властивостей економічно вигідне.

Перший варіант забезпечує максимально можливе ресурсозбереження та мінімум невикористаних відходів, які вимагають захоронення або переробки.

При другому варіанті компоненти відходів використовуються після переробки, в результаті якої відбувається їх трансформація з метою отримання вторинних ресурсів. Ці ресурси в подальшому використовуються для виробництва інших видів продукції.

Наприклад, після переробки металу, відокремленого з відходів, виготовляють різні вироби, в тому числі нові деталі для техніки.

Необхідність вирішення проблеми з утворенням відходів та поводження з ними викликала появу самостійного напрямку природоохоронної політики, що включає в себе розвиток методів утилізації, а також стимулювання заходів по запобіганню утворення відходів і залученню їх в господарський оборот. Для позначення цього напрямку набув широкого поширення термін «управління відходами», що означає регламентацію і регулювання всіх процесів, пов'язаних з утворенням, зберіганням, транспортуванням, утилізацією, використанням і кінцевим розміщенням відходів. Тобто створення ефективного механізму поводження з відходами.

У 2008 р. була прийнята нова редакція директиви про відходи – Директива 2008/98/ЄС Європейського парламенту і Ради Європейського Союзу «Про відходи і скасування ряду директив». Відповідно до норм цієї Директиви відходи стали розглядатися в Європейському союзі як антропогенний ресурс. Тобто ресурс, утворений в результаті діяльності людини при забезпеченні її соціальних потреб, що не володіє властивостями природних об'єктів.

Розвиток спеціальних технологій переробки та утилізації відходів дало можливість розширити і конкретизувати ієрархію завдань при утилізації відходів, яка передбачає:

- запобігання утворенню відходів;
- рециклінг відходів при вторинному використанні матеріалів;
- оптимізацію кінцевої обробки відходів;
- регламентацію транспортування відходів;
- проведення заходів з реабілітації навколишнього середовища;
- виховання населення в дусі раціонального споживання;
- включення екологічних параметрів в стандарти якості продукції.

Включення екологічних параметрів в стандарти якості продукції змушує виробників вже на етапах проектування і виробництва забезпечувати максимально можливу, на момент випуску продукції, її повторну переробку після виведення зі сфери використання.

Отже проблемою завершального етапу життєвого циклу техніки є рециклінг відходів. Уряди більшості країн світу кілька десятків років тому наклали на виробників продукції законодавче обтяження, що полягає в розширеній їх відповідальності за повернення відходів, які утворюються на всіх етапах життєвого циклу їх продукції, в кругообіг виробництво-споживання (рециклінг). Стосовно до техніки це передбачає проведення превентивних робіт на етапі проектування і виробництва. Кожен компонент техніки повинен передбачати один із таких можливих шляхів його утилізації.

Переробка в сировину і продукти – це виробництво з відходів нових матеріалів і продуктів чи сировини для інших товарів. Як правило це більш економічний спосіб виробництва, ніж виготовлення тих же матеріалів і продуктів з вихідної сировини.

Компостування – різновид переробки відходів в нові продукти: може бути застосовано до органічних відходів.

Спалювання або захоронення з отриманням енергії – технології переробки відходів, коли при їх спалюванні виробляються тепло і електроенергія.

Спалювання без отримання енергії – звичайний процес спалювання відходів в спеціальних установах.

Захоронення без отримання енергії – звичайне захоронення відходів на полігонах.

Захоронення відходів є найменш прийнятною технологією поводження з відходами і має на увазі безпечне розміщення відходів, які вже не можуть бути утилізовані іншим шляхом. Перед захороненням потрібна попередня підготовка (знешкодження) відходів, яка включає фізичну, термічну, хімічну і біологічну обробку з метою зниження кількості й токсичності відходів, які направляються на захоронення.

Виходячи із загальних принципів управління відходами, вчені різних країн працюють над новими видами організації утилізації і технологіями, що дозволяють переробляти відходи виробництва на корисну продукцію. Загальними принципами утилізації техніки є:

- по-перше, здійснення підготовки компонентів утилізованих машин до переробки і переробка цих компонентів відповідно до вимог екології і ресурсозбереження;
- по-друге, проведення сортування компонентів утилізованих машин: на придатні до подальшої експлуатації або відновлення деталі і агрегати; окремі види матеріалів і компонентів машин, що підлягають подальшій переробці (наприклад метали, акумулятори, гума, скло, пластмаси тощо).

Щодо утилізації техніки зарубіжні виробники проводять великі обсяги роботи, пов'язаної із забезпеченням зниження трудомісткості, спрощенням ідентифікації компонентів техніки, в тому числі маркуванням деталей, розробкою оптимальних і безпечних технологій розборки і сортування компонентів відходів, технологіями їх переробки тощо. Адже техніка є особливим видом відходів, що вимагають розробки оригінальних систем утилізації.

В Україні виробники вітчизняних машин таких робіт поки не проводять. А це потрібно робити ще на етапі проектування та виробництва продукції. Адже поводження з відходами є окремим

видом діяльності і складовою частиною технічної політики країни. Ця діяльність значною мірою визначає рівень розвитку технічної політики, її відношення до екологічного стану навколишнього середовища і перспектив збереження не тільки своїх власних природних ресурсів, а й світових запасів. Проте поки ефективна система рециклінгу відходів в Україні відсутня, хоча у багатьох видах виведеної з експлуатації техніки міститься велика кількість компонентів, які можна повторно використовувати. Виведена з експлуатації техніка вважається стратегічною сировиною, оскільки до 95% наявних в ній матеріалів може використовуватися повторно. А якщо врахувати, що на виробництво техніки витрачаються багато мільярдів тонн матеріалів, то їх повторне використання може істотно знизити навантаження на природу і середовище проживання людини і всього живого.

9.4 СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МАШИН

неперервний моніторинг технічного стану; структурно-діагностична схема машини; діагностичні параметри машин

Кожна із систем *ТОiP* має як позитивні, так і негативні сторони. Але всі вони повинні виключати появу відмов машини, хоча жодна із них не гарантує безвідмовної експлуатації й вимагає впровадження додаткових методів підвищення надійності техніки. Сучасний рівень розвитку та доступність інформаційних технологій сприяють їх використанню в моніторингу технічного стану, що суттєво впливає на підвищення експлуатаційної надійності машин. Зменшення інтенсивності відмов систем й агрегатів машин відбувається шляхом:

- застосування інструментальних методів контролю технічного стану систем;
- розробки і впровадження способів прогнозування появи несправностей;
- обґрунтування обсягу й термінів проведення профілактичних заходів, заснованих на застосуванні методів теорії надійності;
- підвищення кваліфікації обслуговуючого персоналу.

Впровадження у виробничий процес систем моніторингу технічного стану машин має такі переваги:

- по-перше, забезпечує використання додаткового діагностичного обладнання на агрегатах машини, інструментальних методів контролю технічного стану, в тому числі для дистанційного діагностування під час виконання виробничих завдань, що дозволяє отримати більш повну інформацію про технічний стан машини, а також скорочує витрати на прості техніки для проведення діагностування;

- по-друге, відкриває можливість давати рекомендації про необхідність виконання технічних впливів на вузли й агрегати машини в залежності від їх технічного стану, тобто проваджувати індивідуальну систему *ТОiP*, а також прогнозувати ймовірність появи поступової відмови;
- по-третє, підвищує кваліфікацію персоналу за рахунок впровадження інтелектуальних систем оцінки технічного стану систем й агрегатів машин.

Розробка інтелектуальних систем оцінки технічного стану систем і агрегатів машин полягає в розробці спеціальних алгоритмів, які допомагають обслуговуючому персоналу прийняти правильне рішення про технічний стан машини під час її роботи.

Неперервний моніторинг технічного стану

Перспективним напрямом розвитку машин, що забезпечує їх надійну технічну експлуатацію, є використання діагностичних систем, які базуються на принципі неперервного аналізу. Ці системи за допомогою спеціальних пристроїв автоматично аналізують поточні умови експлуатації й дають спеціальні адаптовані рекомендації сервісному персоналу й оператору.

Наприклад, при порівнянні двох однакових машин, коли у першій відомі основні параметри й показники, що визначають її надійність, а у другій ці дані відсутні, можливості щодо ефективної експлуатації цих машин будуть істотно відрізнятися. Для першої машини можна з найбільшим наближенням до фактичних потреб запланувати обсяги ремонтних робіт і вибрати міжремонтний період, а також розрахувати номенклатуру й кількість запасних частин та решту необхідних матеріальних та трудових ресурсів для швидкого і якісного проведення ремонту. Для цієї машини можна передбачити найбільш ефективні заходи для підвищення її надійності та недопущення непередбаченого виходу з ладу систем і агрегатів, особливо тих, порушення роботи в яких може викликати довгостроковий простій.

Усього цього не можна зробити для другої машини, у якої не відомі показники надійності. Тому неможливо об'єктивно розробити структуру ремонтного циклу і заходи щодо підвищення її надійності. Використання потенційних можливостей цієї машини буде неповним, особливо якщо існує висока ймовірність відмови відповідальних вузлів й агрегатів.

Отже, інформація про надійність систем й агрегатів має високу цінність. Передбачення вірогідних відмов, можливість отримання інформації про технічний стан машини без виведення її з робочого процесу, регламентування показників надійності й умов експлуатації,

виявлення швидкозношуваних частин – все це є основою для підвищення надійності технічних систем.

Нині реальна ситуація при експлуатації багатьох машин така, що характеристики надійності визначені лише орієнтовно або їх взагалі немає, а визначити реальні показники надійності можливо тільки з використанням методів статистики після тривалої експлуатації багатьох однотипних машин.

Окрім того, часто, при непередбачуваній відмові машини, ремонтна бригада вимушена виїжджати на місце проведення робіт, яке, зазвичай віддалене від основної ремонтної бази, що характерно для багатьох галузей промисловості (будівельної, гірничої, нафтогазової, сільськогосподарської, транспортної тощо). Це негативно впливає на економічний ефект ремонтів. Позитивом у цьому випадку буде впровадження у виробничий процес системи моніторингу. Використання можливостей дистанційного діагностування забезпечує неперервний моніторинг технічного стану систем й агрегатів машини і виявлення їх передвимоного стану. Дистанційне діагностування являє собою процес визначення технічного стану об'єкта на відстані за допомогою отримання сигналів із встановлених на ньому датчиків.

Дистанційна діагностика машини дозволяє вирішити такі завдання:

- перевірити правильність роботи її елементів, тобто справність систем і агрегатів;
- оцінити рівень загальної працездатності машини;
- виконати пошук і попередити поступові відмови і несправності;
- передати та обробити інформацію для розробки рекомендацій з проведення технічних впливів;
- збільшити швидкість виявлення причин тієї чи іншої відмови.

Тому використання систем моніторингу технічного стану машин, з функціями збору й передачі інформації про поточний стан, допомагає вжити додаткових заходів для зниження ризику появи непередбачуваної відмови систем й агрегатів. Це дозволяє машині не тільки виконувати неперервну роботу більш тривалий час, а й збільшити її експлуатаційний термін загалом. Нині ці тенденції починають здійснюватися на практиці. Перші системи моніторингу, які спрямовані на діагностику технічного стану машин, з'явилися в розвинутих країнах у 80..90-х роках ХХ століття.

Багато великих компаній світового рівня веде розробку систем, що дозволяють дистанційно проводити оцінку технічного стану та продуктивності машини, не виводячи її з робочого процесу. Наприклад, компанія *Komatsu* в кінці 90-х років розробила систему *VHMS (Vehicle Health Monitoring System)* для технічно складних технологічних

комплексів, які працюють у гірничій промисловості. Система діагностує технічний стан вузлів й агрегатів із постійним обміном даних між машиною й оператором сервісної служби. У результаті сервісний персонал постійно отримує інформацію про технічний стан систем машини, може прогнозувати можливі відмови й планувати необхідне сервісне обслуговування. Потреба в такій системі виправдана високими витратами через простоти машин для усунення наслідків раптової відмови й проведення діагностування перед *ТО*, тривалість якого може досягати декількох годин.

Компанія Caterpillar просуває на ринок техніки систему *VIMS (Vital Information Management System)*, спрямовану на моніторинг, розрахунок продуктивності й сервісне обслуговування техніки. Ця система має у своєму розпорядженні набір інструментів, що дозволяють розраховувати продуктивність, визначати ефективність використання, помилки оператора, відстежувати технічний стан вузлів й агрегатів, а також заздалегідь готувати необхідні запасні частини до строку регламентного технічного обслуговування та запобігати аварійним зупинкам машини.

Схеми роботи у цих системах моніторингу технічного стану схожі за загальним складом компонентів. Це термінал або модуль, встановлений на машину, який постійно фіксує інформацію з датчиків або електронних блоків управління про технічний стан вузлів й агрегатів машини і формує діагностичні звіти, які передає на сервер обробки даних. На сервері проводиться обробка отриманої інформації і формування звітів сервісному персоналу для прийняття рішення про технічні впливи на машину.

Роботу модулів або терміналів, встановлених на машину, можна подати так: датчики (перетворювачі), встановлені на об'єкті діагностування, передають різноманітні сигнали, які перетворюються в електричні величини і надходять у блок для обробки цієї інформації й оцінки стану виробу або характеру зміни його параметрів. Для всіх сигналів, які необхідно порівнювати, передбачено масив допустимих еталонних значень. Процес порівняння буває простим, коли встановлюються допустимі межі для коливання параметра і фіксується його знаходження в межах допуску, і складним, коли застосовуються операції, що оцінюють ступінь відхилення вимірюваного параметра від номіналу, швидкість і характер процесу зміни параметра в часі і інші його характеристики. Інколи для оцінки технічного стану об'єкта на нього подаються спеціальні тестові впливи, тобто формуються стимулюючі сигнали й направляються в об'єкт діагностування для оцінки його реакції. Результати цього аналізу використовують для подальшого управління процесом діагностування. Для цього в системі

автоматичного діагностування передбачається блок реєстрації одержуваних даних і логічний пристрій для прийняття рішень з управління процесом діагностування.

Для достовірності отриманих даних здійснюється самоконтроль шляхом повторного виконання окремих операцій і порівняння отриманих даних. Цей же блок може виконувати функції статистичної обробки даних і отримання середніх значень, дисперсії та інших характеристик вимірюваних величин.

Такі схеми можуть бути реалізовані з різним ступенем автоматизації, з концентрацією всіх операцій в одній системі або поділом її на окремі блоки й установки. Останнє пов'язано з характером об'єкта, його розмірами, можливостями отримання даних під час роботи, необхідною частотою перевірки та іншими факторами.

Передача інформації від терміналу на сервер може бути різною за способом передачі даних. У містах на деяких системах моніторингу технічного стану використовується стільниковий (2G/3G/4G) зв'язок. У місцях, де недоступний стільниковий зв'язок, для передачі інформації можуть бути використані низькоорбітальні супутники зв'язку *LEO* (*Low Earth Orbit*). Але недоліком останнього є висока вартість передачі інформації. Існують й інші способи передачі інформації: *Wi-Fi*, *Bluetooth*, внутрішні промислові локальні мережі.

Відзначимо тенденцію розвитку та поширення систем моніторингу технічного стану, оскільки ще недавно основним стримуючим фактором цього був технічний рівень, надійність, ціна електронних компонентів, а також слабкі потужності з обробки даних.

Отже, безперервна дистанційна діагностика є важливим елементом системи експлуатації машин й управління їх якістю й надійністю. Її застосування дозволяє розширити експлуатаційні можливості, підвищити продуктивність, знизити ризик появи поступових відмов, виявити помилки оператора, отримати інформацію про роботу техніки, поліпшити планування закупівлі необхідних запчастин, скоротити простої техніки.

Для створення алгоритмів обробки інформації про технічний стан треба правильний поділ машини на системи й агрегати та правильне визначення діагностичних параметрів. Для цього в практиці технічної експлуатації застосовують створення структурно-діагностичних схем.

Структурно-діагностична схема може бути представлена у вигляді граф-моделі, що пов'язує основні елементи механізму, їх структурні параметри, перелік характерних несправностей і

набір можливих для використання діагностичних параметрів. На рисунку 9.5 для прикладу наведено структурно-діагностичну схему вузла «гільза-кільце-поршень» двигуна внутрішнього згорання як об'єкта діагностування. Кожен діагностичний параметр може бути пов'язаний з декількома структурними і навпаки.

Структурно-діагностична схема машини

Для створення алгоритмів обробки інформації про технічний стан треба мати правильний поділ машини на системи й агрегати та правильне визначення діагностичних параметрів. Для цього в практиці технічної експлуатації застосовують створення структурно-діагностичних схем.

Структурно-діагностична схема може бути представлена у вигляді граф-моделі, що пов'язує основні елементи механізму, їх структурні параметри, перелік характерних несправностей і набір можливих для використання діагностичних параметрів. На рисунку 9.5 для прикладу наведено структурно-діагностичну схему вузла «гільза-кільце-поршень» двигуна внутрішнього згорання як об'єкта діагностування. Кожен діагностичний параметр може бути пов'язаний з декількома структурними і навпаки.



Рисунок 9.5 – Параметри структурно-діагностичної схеми (на прикладі поршиєвої групи двигуна внутрішнього згорання)

*I – об'єкт; II – структурні параметри; III- несправності;
IV – діагностичні параметри; V – зміна діагностичних параметрів при погіршенні технічного стану*

Така постановка діагнозу за кількома діагностичними параметрами складніша від однопараметричного діагностування. Теоретично постановка діагнозу зводиться до того, щоб за допомогою діагностичних параметрів, пов'язаних із певними несправностями об'єкта, виявити з безлічі можливих його станів найбільш ймовірний. Тому основне завдання при використанні декількох діагностичних параметрів полягає в розкритті множинних зв'язків між ними і структурними параметрами об'єкта. З урахуванням цих зв'язків визначають технічний стан систем й агрегатів шляхом переходу від діагностичних параметрів до ймовірних несправностей об'єкту, тобто ставлять діагноз. Подібні завдання вирішують за допомогою діагностичних матриць, які являють собою порядковий набір зв'язків між діагностичними параметрами і несправностями систем й агрегатів, тобто параметрами технічного стану, що досягли граничних значень. Числові коефіцієнти цих зв'язків у найпростіших матрицях мають значення 0 і 1, а в імовірнісних – дробові проміжні значення. Одиниця в місці перетину горизонтального й вертикального рядів означає можливість існування несправності, а нуль – відсутність такої можливості; дробове значення вказує вірогідність зв'язку діагностичного параметра з несправністю.

Фізична сутність використання структурно-діагностичних схем полягає у визначенні передвідмовного стану, який сигналізує про можливу несправність. Такі схеми є основою при формуванні рекомендації для технічного впливу.

Діагностичні параметри машин

Дистанційна діагностика дає достовірну картину поточних параметрів машини, створену на врахуванні її індивідуальних властивостей. При її застосуванні є можливість накопичення й оперативного порівняння тих чи інших даних про стан об'єкту, що діагностується.

Реалізація дистанційного діагностування проходить у три етапи:

- перший – формування бази даних про стан машини в минулому;
- другий – сканування її стану на даний час;
- третій – прогнозування змін параметрів.

При цьому визначається зміна параметра в минулому, характер його зміни на даний час і математичним моделюванням визначають його поведінку в майбутньому. Це дозволяє з певною вірогідністю розрахувати час настання передвідмовного стану або визначити залишковий ресурс.

Діагностичними параметрами можуть бути тільки ті параметри, значення яких можна визначити без розбирання машини. Ці

параметри можна подати у вигляді блок-схеми. На рисунку 9.6 наведено приклад такої блок-схеми для двигуна внутрішнього згорання.

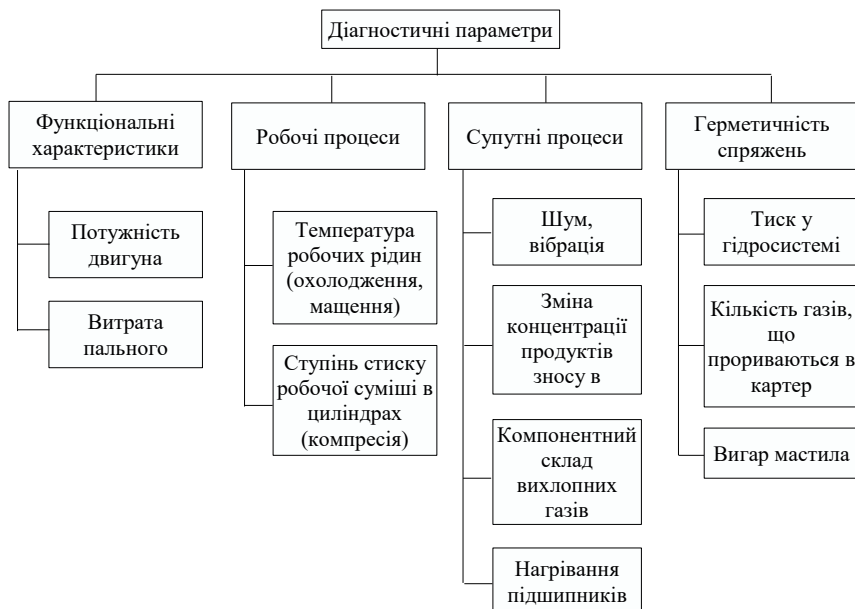


Рисунок 9.6 – Блок-схема діагностичних параметрів двигуна внутрішнього згорання

Параметри процесів можуть бути використані як діагностичні, якщо вони відповідають:

- інформативності параметра, тобто достатній кількості інформації про агрегати або системи, яка отримана в результаті аналізу отриманного параметра;
- чутливості – здатності об'єкта реагувати певним чином на мале значення впливу;
- стабільності – здатності не змінювати своє значення і перебувати в рівновазі протягом певного проміжку часу;
- однозначності, коли кожне його значення відповідає тільки одному значенню параметра або зміні системи;
- доступності і зручності для вимірювання.

Діагностичні параметри можуть бути частковими, що вказують на конкретну несправність вузла, і загальними, або інтегральними, що характеризують стан машини в цілому. Основне завдання

діагностики – отримати повну та достовірну інформацію за найменшої кількості параметрів.

Впровадження принципів діагностики та моніторингу технічного стану експлуатацію машин змінює способи планування проведення технічних впливів. Передбачається, що прийняття рішення про необхідність проведення технічного впливу буде ґрунтуватися не тільки на регламентних значеннях напруцювання, які встановлює завод-виробник, але й від безпосереднього технічного стану систем й агрегатів машини.

На рисунку 9.7 подано послідовність дій, що плануються при організації дистанційного діагностування та впровадженні в технічну експлуатацію системи технічного моніторингу.



Рисунок 9.7 – Алгоритм дій при використанні дистанційної діагностики

Як бачимо, відбувається накопичення отриманої інформації в базі даних. Це створює для однотипних машин парку великі обсяги статистичних даних, які допоможуть у проведенні прогнозування зміни технічного стану систем і агрегатів. База даних може бути використана для виявлення передвідмовних станів машин. Для створення інструментів виявлення передвідмовних станів виконують аналіз картини появи поступових відмов, що виникають у процесі експлуатації.

9.5 ІНФОРМАЦІЙНА ПІДТРИМКА ВИРОБНИЦТВА

*автоматизована система управління технічним станом машин;
система управління виробничими процесами (MES);
інформаційні технології менеджменту обслуговування*

Сучасний інноваційний розвиток галузей економіки базується на технологічному оновленні промисловості, на широкому

використанні досягнень науки й техніки та на прогресивних інформаційних технологіях. Тому удосконалення методів і якості управління на всіх рівнях, зокрема й на рівні підприємства та його структурних підрозділів, передбачає використання комп'ютерних та інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень.

Для управління повним циклом виробу – від його концепції творення і до утилізації, включаючи такі етапи, як проектування, виготовлення, реалізацію, після продажного обслуговування, широко використовується прикладне програмне забезпечення – система *PLM* (англ. *Product Lifecycle Management* – управління життєвим циклом виробу).

Система *PLM*, комплексно об'єднує передові підходи та базові технології і є не просто програмним додатком. Це бізнес-стратегія компанії на основі системних бізнес-рішень, що підтримують: управління даними про виріб (*PDM*); колективну розробку; візуалізацію; цифрове виробництво; вибір стратегічних постачальників; перевірку і управління відповідністю вимогам якості; поширення та використання інформації про специфікації виробів у рамках розширеного підприємства від початку розробки концепції до кінця життєвого циклу. Це забезпечує інтеграцію персоналу, виробничих процесів та бізнес-систем.

Система *PLM* допомагає компаніям гнучко і оперативно реагувати на мінливі виклики ринку та конкурентного середовища, а саме:

- виробляти більш інноваційні продукти і послуги;
- скорочувати витрати, підвищувати якість та скорочувати терміни виведення продукції на ринок;
- формувати всебічну взаємодію зі споживачами, постачальниками і бізнес-партнерами в режимі колективних розробок і постійного вдосконалення.

Інформаційна підтримка етапу виробництва продукції здійснюється автоматизованими системами управління підприємством (*АСУП*) і автоматизованими системами управління технологічними процесами (*АСУТП*).

До *АСУП* відносяться інтегровані системи планування ресурсів підприємства (англ. *Enterprise Resource Planning*, або *ERP*), системи планування виробництва (англ. *Material Requirements Planning*, або *MRP*), системи управління ланцюгами поставок (англ. *Supply Chain Management*, або *SCM*). Найбільш розвинені системи *ERP* виконують різні бізнес-функції, пов'язані з плануванням виробництва, закупівлями, збутом продукції, аналізом перспектив маркетингу, управлінням фінансами, персоналом, складським господарством, обліком основних фондів і тому подібне. Системи *MRP* орієнтовані, головним

чином, на бізнес-функції, безпосередньо пов'язані з виробництвом. Системи *SCM* і *MRP* можуть бути реалізовані як підсистеми *ERP*.

До складу *АСУТП* входить система *SCADA* (англ. *Supervisory Control And Data Acquisition* – диспетчерське управління і збір даних) для збирання та обробки даних про стан обладнання та технологічних процесів. Вона допомагає розробляти програмне забезпечення для вбудованого обладнання. Для безпосереднього програмного керування технологічним обладнанням використовують системи *CNC* (англ. *Computer Numerical Control* – комп'ютерний цифровий контроль) на базі контролерів (спеціалізованих промислових комп'ютерів), які вбудовані в технологічне обладнання з числовим програмним управлінням.

Проміжне місце між *АСУП* і *АСУТП* займає виробнича виконавча система – *MES* (англ. *Manufacturing Execution System* – система управління виробничими процесами), призначена для вирішення оперативних завдань управління проектуванням, виробництвом і маркетингом.

На етапі реалізації продукції виконуються функції управління відносинами з замовниками і покупцями, проводиться аналіз ринкової ситуації, визначаються перспективи попиту на вироби. Ці функції покладені на систему *CRM* (англ. *Customer Relationship Management* – управління взаємовідносинами з клієнтами).

Функції допомоги обслуговуючому персоналу покладено на інтерактивні електронні технічні керівництва *IETM* (*Interactive Electronic Technical Manuals*). З їх допомогою виконуються діагностичні операції, пошук причин відмови компонентів, замовлення додаткових запасних деталей і деякі інші операції на етапі експлуатації машин.

Технології *PLM* об'єднують методики і засоби інформаційної підтримки виробів протягом усіх етапів життєвого циклу виробів. Характерна особливість *PLM* – забезпечення взаємодії як засобів автоматизації різних виробників, так і різних автоматизованих систем багатьох підприємств. Тобто технології *PLM* є основою для інтегрування у спільний інформаційний простір *САПР*, *ERP*, *PDM*, *SCM*, *CRM* та інших автоматизованих систем багатьох підприємств.

Автоматизована система управління технічним станом машин

Будь-яке підприємство не може обійтися без промислового обладнання, яке не може працювати без технічного впливу, тобто ремонтно-технічного обслуговування. Як при підвищенні рівня оснащення підприємств сучасною технікою так і по мірі морального зносу встановленого раніше обладнання, важливе значення має

його раціональна експлуатація, яка залежить від правильної організації технічного обслуговування та ремонту.

Недоліками неавтоматизованої технології управління технічним станом машин, які нині переважають, є:

- відсутність принципу замкнутого циклу постійного поліпшення (адаптивності), тобто за фактом зміни технічного стану обладнання виконують коригувальні дії, але подальші заходи за результатами факторного аналізу, зазвичай, не проводяться; система управління технічним станом виявляється розімкнутою, а система управління надійністю, як постійно діюча адаптивна система – відсутня;
- використання паперових облікових форм призводить до суттєвих втрат часу при обробці інформації;
- відсутність єдиної електронної облікової форми;
- використання застарілих методів аналізу з побудовою таблиць і розрахунками показників «вручну» (наприклад, за використанням програм *Microsoft Office*), що призводить як до істотних часових витрат, так і до ймовірних помилок в розрахунках;
- відсутність автоматизації підтримки прийняття рішень, у результаті чого аналітична діяльність інженера недостатня, а технічним фахівцям необхідно більше часу на аналіз причин відмови та надійності обладнання;
- низький аналітичний рівень факторного аналізу: аналітичні документи в основному є описовими – констатуються відмови, а аналіз зводиться лише до порівняння з аналогічними попередніми проміжками часу, поданням матеріалу у вигляді діаграм.

Тому об'єктивну та оперативну оцінку поточної ситуації, оперативне прийняття оптимальних управлінських рішень, ліквідацію інформаційних та організаційних бар'єрів між управлінськими та технологічними рівнями неможливо реалізувати без використання єдиного інформаційного простору, який охоплює всі системи функціонування підприємства, в тому числі й автоматизовану систему управління (АСУ) ремонтно-технічного обслуговування. Тому одним із головних завдань будь-якого підприємства є використання сучасної автоматизованої системи управління, якій притаманні:

- робота користувача АСУ в режимі реального часу;
- наскрізна інформаційна підтримка всіх етапів проходження інформації на основі інтегрованої бази даних та бази знань, яка передбачає єдину уніфіковану форму представлення, збереження, пошуку, відображення, відновлення та захисту даних;
- безпаперовий процес обробки документа, при якому на папері фіксується тільки кінцевий варіант документа;

- застосування сучасних математичних методів обробки та аналізу інформації в програмному забезпеченні автоматизованої системи;
- інтерактивний режим розв'язання задач з поясненням результату;
- можливість адаптивної перебудови форми та способу представлення інформації в процесі розв'язання задачі.

Загалом інформаційний простір можна розглядати як процес цілеспрямованого перетворення вихідної інформації про стан та умови функціонування об'єкта управління в інформацію про раціональний шлях досягнення ним належного стану у майбутньому. Забезпечення повною, надійною та своєчасною інформацією для прийняття рішень – центральна та найбільш складна ланка організації управління. Вона обумовлює якість рішень та ефективність функціонування об'єкта.

Використання АСУ ремонтно-технічного обслуговування техніки забезпечує необхідною інформацією технічний персонал підприємства про обладнання та його стан, дозволяє здійснювати оперативний контроль та аналіз стану обладнання, оптимізує планування та проведення ремонтно-технічного обслуговування, поліпшує його якість та в результаті підвищує надійність експлуатації обладнання підприємства, зменшує витрати на виробництво.

Автоматизована система управління технічним станом машин в цілому повинна представляти собою ієрархічну систему розподіленого управління та розв'язувати задачі ремонтно-технічного обслуговування на всіх рівнях у рамках АСУ всього підприємства.

При розв'язанні багатьох задач оцінки, аналізу та прогнозування АСУ широко використовує методи статистичної обробки даних про технічний стан обладнання, виконує ймовірнісний статистичний аналіз, здійснює зворотні зв'язки для оцінки ефективності прийнятих управлінських рішень. Тобто, інформаційна підтримка роботи технічних підрозділів підприємства функціонує на базі комплексу взаємопов'язаних математичних моделей оцінки технічного стану та оцінки технічної готовності складних технічних систем та їх елементів, вбудованих у програмне забезпечення.

Складові подібної системи повинні використовуватись окремо та мають бути відносно автономними. При цьому обов'язковою є інформаційна взаємодія між ними та іншими системами АСУ підприємства.

При розв'язанні задач та прийнятті рішень автоматизована система управління ремонтно-технічного обслуговування повинна реалізовувати такі функції:

- 1) моніторинг та аудит ефективності обладнання при експлуатації;
- 2) оцінка, аналіз та прогнозування технічного стану обладнання;

3) планування та управління технічним обслуговуванням та ремонтами:

- перспективне планування та проведення ремонтів обладнання;
- проведення технічного обслуговування обладнання;
- формування звітної документації про ремонт;
- ведення архіву даних з ремонту та поломок;

4) планування та управління ресурсами для проведення *РТО*:

- матеріально-технічне забезпечення ремонтів;
- управління замовленнями на ремонт;

5) ведення баз даних загального призначення:

- нормативно-довідкової інформації на обладнання;
- ремонтної та технологічної документації;
- ремонтних формулярів;
- техніко-економічних нормативів на ремонтні роботи;
- норми часу на ремонтні роботи;
- конструкторської документації.

Ці функції в системі реалізуються через автоматизоване розв'язання задач, які можна умовно розділити на 5 класів.

1 клас – обліково-довідкові задачі, які передбачають:

- введення, збереження, підтримку в актуальному стані банку даних та знань;
- наявність контролю за повнотою вихідних даних;
- адаптацію технології автоматизованого розв'язання задач обробки первинної інформації;
- структурування облікової інформації;
- гнучкість механізмів пошуку та виводу інформації.

2 клас – задачі аналізу та розрахунку:

- аналіз інформації та розрахунки, що ґрунтуються на положеннях та вимогах, які викладені в проектно-конструкторських, експлуатаційних та організаційних документах;
- аналіз експлуатаційних даних моніторингу технічного стану машин;
- формування запропонованих розв'язків та задач планування за результатами аналізу та розрахунку.

3 клас – формування варіантів запропонованих розв'язків:

- реалізація функцій логічного виводу та формування різних стратегій, які впливають із керівних документів (конструкторських, експлуатаційних, організаційних);
- функції логічного виводу та формування різних адаптивних стратегій, що ґрунтуються на застосуванні нових досягнень у галузі математичного моделювання;
- побудова дохідливих висновків, тобто кожний варіант

можливого розв'язку має зрозумілі пояснення шляхів отримання цього розв'язку.

4 клас – задачі ефективного планування:

- орієнтація процесу планування на реалізацію рішень, прийнятих користувачем;
- неперервність планування, тобто план складають із урахуванням первинної інформації, результатів аналізу та розрахунку, а також з урахуванням нових факторів;
- планування охоплює всі види планування – річне, квартальне, місячне, оперативне; наявність аналізу причин відхилень при корегуванні попередніх планів, класифікації цих причин для підготовки окремих висновків та розв'язків.

5 клас – складання звітів та повідомлень, які забезпечують:

- можливість для користувача автоматизованого формування замовлення на видачу звіту та повідомлення;
- уніфікацію документів з урахуванням вимог конкретного підприємства.

Реалізація моделі АСУ ремонтно-технічного обслуговування на підприємстві дає можливість виконувати такі завдання:

- швидко й достовірно оцінювати оперативну обстановку в ремонтному комплексі;
- встановлювати контроль виявлення й усунення інцидентів (позаштатних ситуацій), пов'язаних із технічними системами;
- встановлювати причини й наслідки цих інцидентів;
- виробляти технічні заходи, розроблені в результаті аналізу статистичних даних зафіксованих у системі;
- проводити перевірку ефективності вироблених технічних заходів із подальшим їх коригуванням.

Виконання вказаних функцій та вирішення зазначених задач забезпечують ефективну, надійну систему інформаційної підтримки управління ремонтно-технічного обслуговування парку технологічного обладнання підприємства.

Система управління виробничими процесами (MES)

Більш високим рівнем системи технічного менеджменту виробництва є система управління виробничими процесами, до складу якої входить підсистема керування виробничими фондами, тобто автоматизована система управління ремонтно-технічним обслуговуванням.

MES (Manufacturing Execution System) – це система керування виробництвом, що зв'язує в одне ціле всі бізнес-процеси підприємства (як рівня виробничого підрозділу, так і інтегрованого управління

виробництвом підприємства в цілому) з виробничими процесами, оперативно поставляє об'єктивну й детальну інформацію управління. Крім того, *MES* проводить аналіз і визначає найбільш ефективне рішення проблеми. Тобто це інформаційна і комунікаційна система виробничого середовища підприємства для автоматизованого керування виробничою діяльністю підприємства, яка у режимі реального часу планує, оптимізує, контролює, документує виробничі процеси від початку формування замовлення до випуску готової продукції.

MES визначається як сукупність програмних функцій, що відрізняються від функцій систем планування ресурсів підприємства (*ERP*), автоматизованого проектування і програмування (*CAD/CAM*) й автоматизованих систем керування технологічним процесом (*АСУТП*), які використовуються підприємствами.

Асоціація розробників *MES* визначила 11 основних функцій:

1. *Контроль стану і розподіл ресурсів (RAS – Resource Allocation and Status)*. Ця функція забезпечує керування ресурсами виробництва (машинами, інструментальними засобами, методиками робіт, матеріалами, устаткуванням) й іншими об'єктами, наприклад, документами про порядок виконання кожної виробничої операції. У межах цієї функції описується детальна історія ресурсів і гарантується правильність налаштування устаткування у виробничому процесі, а також відстежується стан устаткування в режимі реального часу.

2. *Оперативне/Детальне планування (ODS – Operations/Detail Scheduling)*. Ця функція забезпечує оперативне й детальне планування роботи, засноване на пріоритетах, атрибутах, характеристиках і властивостях конкретного виду продукції, а також детально й оптимально обчислює завантаження устаткування при роботі конкретної зміни.

3. *Диспетчеризація виробництва (DPU – Dispatching Production Units)*. Забезпечує поточний моніторинг і диспетчеризацію процесу виробництва, відстежуючи виконання операцій, зайнятість людей і устаткування, виконання замовлень, обсягів партій і контролює в реальному часі виконання робіт відповідно до плану. У режимі реального часу відстежуються всі зміни, що відбуваються, і вносяться корективи в план роботи виробничого підрозділу.

4. *Керування документами (DOC – Document Control)*. Контролює зміст і проходження документів, які повинні супроводжувати виріб, що випускається, включаючи інструкції й нормативи робіт, способи виконання, креслення, процедури стандартних операцій, програми обробки деталей, запису партій продукції, повідомлення

про технічні зміни, передачу інформації від зміни до зміни, а також забезпечує можливість вести планову й звітну документацію виробничого підрозділу. Передбачається архівація інформації.

5. *Збір та збереження даних (DCA – Data Collection/Acquisition)*. Ця функція забезпечує інформаційну взаємодію різних виробничих підсистем для отримання, накопичення й передачі технологічних і керуючих даних, що циркулюють у виробничому середовищі підприємства. Дані про хід виробництва можуть вводитися як вручну персоналом, так і автоматично з заданою періодичністю з АСУТП або безпосередньо з виробничих ліній.

6. *Керування персоналом (LM – Labor Management)*. Надає інформацію про персонал із заданою періодичністю, включаючи звіти про час і присутність на робочому місці, спостереження за відповідністю сертифікації, а також можливість враховувати й контролювати основні й додаткові обов'язки персоналу, що поєднуються.

7. *Керування якістю продукції (QM – Quality Management)*. Надає дані вимірів про якість продукції, у тому числі й у режимі реального часу, зібрані з виробничого рівня, забезпечуючи належний контроль якості і загострюючи увагу на критичних точках. Може запропонувати дії по виправленню конкретної ситуації на основі аналізу кореляційних залежностей і статистичних даних причинно-наслідкових зв'язків контрольованих подій.

8. *Керування виробничими процесами (PM – Process Management)*. Відстежує заданий виробничий процес, а також автоматично вносить корективи або пропонує відповідне рішення оператору для виправлення або підвищення якості поточних робіт.

9. *Керування виробничими фондами (техобслуговування) (MM – Maintenance Management)*. Підтримка процесу технічного обслуговування, планового й оперативного ремонту виробничого й технологічного устаткування й інструментів протягом усього виробничого процесу.

10. *Відстеження історії продукту (PTG – Product Tracking and Genealogy)*. Надає інформацію про порядок ведення роботи з даною продукцією. Інформація про стан може містити в собі: звіт про персонал, що працює з цим видом продукції, компоненти продукції, матеріали від постачальника, партію, серійний номер, умови виробництва, невідповідності встановленим нормам, індивідуальний технологічний паспорт виробу.

11. *Аналіз продуктивності (PA – Performance Analysis)*. Надає звіти про реальні результати виробничих операцій, а також порівнює з попередніми й очікуваними результатами. Представлені звіти можуть містити в собі такі виміри: використання ресурсів, наявність

ресурсів, час циклу виробничого ресурсу, відповідність плану, стандартам та інші.

Інформаційні технології менеджменту обслуговування

Нині, серед інших, широко впроваджується і використовується в інформаційних технологіях підприємств стандарт *ITSM (IT Service Managment, управління IT-послугами)*. Його використання суттєво покращує систему управління надійністю технічних систем.

Згідно з розділом *ITSM* для забезпечення надійної роботи системи необхідно реалізувати десять процесів сервісного технічного обслуговування.

1. *Управління інцидентами (Incident Management)*. Реалізує функції технічної допомоги. Спрямований на швидке відновлення обслуговування шляхом усунення неполадок. Завдання процесу управління інцидентами – звести до мінімуму випадки переривання обслуговування. Основні процеси: прийом звернень, реєстрація інцидентів, класифікація інцидентів, визначення пріоритетів, ізоляція неполадок, ескалація інциденту (всередині процесу і/або на рівень керівників), відстеження історії інцидентів, усунення неполадок, повідомлення клієнтів, закриття справи.

Тобто повинна бути створена єдина комплексна система управління технічним обслуговуванням і ремонтом машини, в якій кожен ремонт і обслуговування (плановий або позаплановий) розглядається як інцидент, життєвий цикл якого повинен бути керованим і підконтрольним.

2. *Управління проблемами (Problems Management)*. Цей процес направлено на зниження числа неполадок й інцидентів. Реалізується шляхом вивчення джерел їх виникнення (на основі інформації про колишні інциденти). Також включає аналіз тенденцій і контроль відомих помилок із розрахунком на усунення їх джерел у далекій перспективі. Тісно пов'язане з управлінням інцидентами. Основні процеси: аналіз тенденцій у виникненні проблем, реєстрація проблем, виявлення джерела, відстеження історії проблем, аналіз відомих помилок, контроль відомих помилок, вирішення проблем, закриття справ з проблем / відомих помилок.

Тобто повинен бути реалізований факторний комплексний аналіз інформації про інциденти, виявлення і усунення вузьких і витратних місць технологічного процесу.

3. *Управління рівнем сервісу (Service Level Management)*. Дозволяє організації встановлювати, обговорювати, вести моніторинг, складати звіти й контролювати рівні обслуговування споживачів

відповідно до показників обслуговування. Важлива взаємодія процесів планування послуг й управління рівнем сервісу. Процес управління рівнем сервісу може визначити вимірні цілі рівнів сервісу та їх потенційних споживачів, дозволяючи керівництву згодом взяти на себе зобов'язання за угодами про рівень сервісу (*Service Level Agreement - SLA*). Основні процеси: оцінка специфічних вимог до послуг, порівняння вимог зі стандартними послугами, визначення потреби в замовних послугах, переговори й складання угоди про рівень обслуговування, установка циклу дослідження ефективності послуги, аналіз ефективності послуги з орієнтованим на споживача рівнем, створення звітів споживачів, проведення дослідження ефективності послуги, вироблення пропозицій про поліпшення послуги.

4. *Управління конфігурацією (Configuration Management)* забезпечує централізовану реєстрацію і контроль інформації.

5. *Управління змінами (Change Management)* реєструє всі значні зміни у виробничому середовищі, координує порядок робіт, пов'язаних зі змінами, задає пріоритет запитам на їх внесення, дає повноваження на виробничі зміни та інші функції.

6. *Управління реліз (Release Management)* – планування й контроль розгортання оновлень програмного й апаратного забезпечення. Тобто налагодження обліку сумісності обладнання (а в апаратно-програмних комплексах – і програмного забезпечення) для різних серій і модифікацій обладнання.

7. *Управління витратами (Cost Management)* – відстеження фактичних витрат у розрізі сервісів і категорій користувачів. Стосовно до системи управління технічним станом обладнання – це оцінка собівартості сервісного обслуговування, пошук шляхів зниження витрат.

8. *Управління потужністю (Capacity Management)* дозволяє визначати, відстежувати й контролювати потужність служб. Стосовно до системи управління технічним станом технічних систем перш за все необхідно налагодити контроль відповідності потужності ремонтного комплексу обсягами *TOiP*, а також допустимість завантаження роботою самого обладнання.

9. *Управління безперервністю (Business Continuity Management, BCM)* – підтримка функціонування сервісу при надзвичайних обставинах, відновлення сервісів, необхідних для продовження роботи бізнесу в разі надзвичайних обставин (стихійне лихо тощо.).

10. *Управління доступністю (Availability Management)* дозволяє організації визначати, відстежувати й контролювати доступність послуг.

На відміну від традиційних підходів, *ITSM* концентрується на потребах клієнта, на послугах, що надаються, а не на самих інформаційних технологіях. При цьому важливим моментом є системність. При роботі з кожним складовим програми прослідковується взаємозв'язок та координація з іншими процесами.

Використана література

1. *Автоматизация технологических процессов добычи и подготовки нефти и газа*. Андреев Е. Б., Ключников А. И., Кротов А. В., и др. – Москва: Недра, 2008. – 400с.
2. Загидуллин Р. Р. *Управление машиностроительным производством с помощью систем MES, APS, ERP*. – Старый Оскол: ТНТ, 2011. – 372 с.
3. Кіjanовський М. В. *Діагностичне забезпечення технічного обслуговування та ремонту (ТОіР) гірничо-металургійного обладнання. Навчальний посібник*. Видавництво ДВНЗ КНУ «Мінерал», 2016. – 364с.
4. Рєпин С. В. *Методология обеспечения работоспособности транспортно-технологических машин и комплексов средствами технической эксплуатации* / Рєпин С. В., Рулис К. В., Зазыкин А. В. и др. - Монография. - СПб.: СПбГАСУ. – 2012. – 218 с.
5. B.S. Dhillon. *Life Cycle Costing for Engineers*. CRC Press. NewYork. – 2010. – 204 p.
6. Бизнес-школа SRC: Глоссарий. – <http://www.src-master.ru/glossary.php>.

ПРИКЛАДИ ТВОРЕННЯ МАШИН

ПРИКЛАД 1 – ПОШУК КОНКУРЕНТОЗДАТНОГО ВИРОБУ
ІГРАШКОВОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ

*опис конструкції і принципу дії винаходу; формулювання предмета винаходу
запатентованого виробу; аспекти винаходу; технічні можливості реалізації;
інженерний аналіз; post scriptum*

Американська компанія «Парк Пластикс», що спеціалізувалася на виготовленні пластмасових виробів, у свій час вела інтенсивний пошук конструкції виробу, випуск якого гарантував би стійкий попит та високий прибуток. Працівники компанії звернули увагу на німецький патент, який був виданий громадянину ФРН, на іграшковий літальний апарат з реактивним двигуном. Запатентований виріб стосувався класу привідних механізмів для іграшок. Мета винаходу – дати дітям нову іграшку, щоб викликати у них інтерес до моделей літальних апаратів різної конструкції.

Розглянемо в цьому контексті деякі питання, відповіді на які слід було отримати фірмі, щоб зважитись на придбання ліцензії, а потім розробку і випуск повітряно-водяної іграшкової ракети.

Опис конструкції і принципу дії винаходу

На рисунку П.1 показано просторове зображення конструкції літального апарата (літака), а на рисунку П.2 профіль його фюзеляжу. Літальний апарат складається з фюзеляжу 1 та крил 2. Фюзеляж виконано порожнистим, що має вихідний патрубок а із отвором для виходу реактивного струменя.

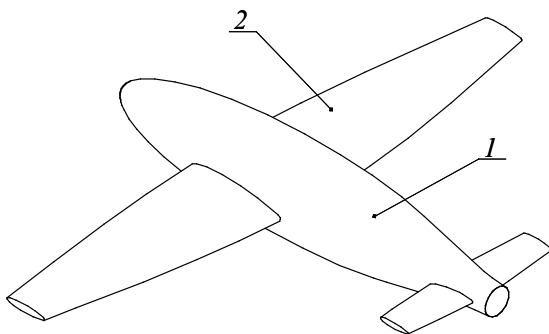


Рисунок П.1 - Іграшковий літальний апарат

1 – корпус, 2 - крила



Рисунок П.2 – Фюзеляж літального апарату

а – отвір для виходу реактивного струменя

Підготовка до запуску літального апарату полягає в тому, що порожнину фюзеляжу частково заповнюють нейтральною рідиною (наприклад, водою) через вихідний отвір *a*. Після чого в решту незаповненої частини порожнини фюзеляжу нагнітають стиснуте повітря, наприклад, за допомогою звичайного велосипедного насоса. Для подачі стиснутого повітря у порожнину фюзеляжу літального апарату *1* (рис. П.3) встановлюють на стартовий пристрій *2* з підвідним патрубком *4* зі зворотнім клапаном *3*, до якого приєднують вихідний патрубок літального апарату. При цьому кінець фюзеляжу з отвором повинен бути направлений униз. У процесі нагнітання стиснутого повітря вода знаходиться знизу під дією власної ваги і повітряного тиску. При звільненні кінця фюзеляжу від підвідного патрубку стартового пристрою вода під тиском стиснутого повітря виринається з вихідного отвору у вигляді струменя. Реактивна тяга, що виникає в результаті взаємодії літального апарату зі струменем води, що витікає з отвору, надає літальному апарату прискорення. Залежно від кількості енергії стиснутого повітря іграшковий літальний апарат піднімається в повітря на певну висоту. Після затухання реактивної тяги літальний апарат, сконструйований, наприклад, як планер, плавно опускається на землю.

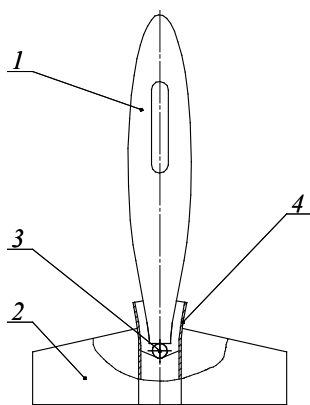


Рисунок П.3 – Схема установки літального апарату на стартовому пристрої

1 – літальний апарат, 2 – стартовий пристрій, 3 – зворотний клапан,
4 – підвідний патрубок

Формулювання предмета винаходу запатентованого виробу

Іграшковий літальний апарат складається з пустотілого герметичного корпусу, що має з однієї сторони отвір для виходу реактивного струменя, та із стартового пристрою (пристрою для утримання) зі зворотним клапаном на підвідному патрубку (для рідини та газу). Розміри підвідного патрубка вибрані так, що він вільно вставляється в отвір для виходу реактивного струменя в корпусі літального апарата, а також забезпечує необхідну герметичність в місці з'єднання. Керований вручну пристрій для утримання з фіксуючою зачіпкою, змонтованою на ньому, призначений також для утримання літального апарата за тильний кінець фіюзеляжу і забезпечення щільного контакту підвідного патрубка для рідини та газу з кромкою отвору для виходу реактивного струменя.

Аспекти винаходу

Беручи до уваги цей приклад, можемо виділити два аспекти винахідництва.

Перший аспект пов'язаний із народженням ідеї для фірми, що володіє необхідним технологічним обладнанням, матеріалами та кваліфікованим персоналом для виробництва таких виробів. Очевидно, що важливе місце при впровадженні у виробництво іграшки повинні займати відомі аналоги реальних речей. Особливо великою популярністю у дітей користуються ракети, літаки, гелікоптери, бульдозери, автомобілі та інші машини.

Другий аспект безпосередньо пов'язаний із ракетами. Для втілення ідеї щодо створення повітряно-водяного двигуна вочевидь пропонується винахід позитивно вирізняється від інших видів двигунів творчим характером. Він простий конструктивно, для його приводу використовуються звичайні речовини (повітря, вода) і легко реалізується на виробництві. Окрім цього, іграшка є безпечною для дітей.

Громадське опитування населення *США* показало, що потреба в цьому виробі складає приблизно сорок тисяч одиниць на рік.

Технічні можливості реалізації

Перед тим, як купляти ліцензію у власника патенту на право використання винаходу, в цьому випадку іграшкової повітряно-водяної ракети, визначається технічна можливість створення виробу та прогнозується попит на нього. По суті, це питання інженерного аналізу.

Виходячи з технічного рішення запатентованого виробу, сформулюємо конкретні питання, на які необхідно отримати відповіді в кількісних величинах. Які це питання та відповіді?

Основним критерієм для пропонованого виробу (адже патент це

пропозиція) є висота, на яку буде підніматись іграшкова ракета. Тому на початковій стадії інженерного аналізу треба оцінити порядок цієї величини. Безумовно, що визначення висоти підйому є найпершим етапом. Адже при отриманні результату, що буде дорівнювати, наприклад, один-два метри, саму ідею повітряно-водяної ракети слід відкинути.

Для орієнтовної оцінки висоти польоту іграшки створюємо ескіз корпусу (фюзеляжу, оболонки) ракети (рис. П.4)

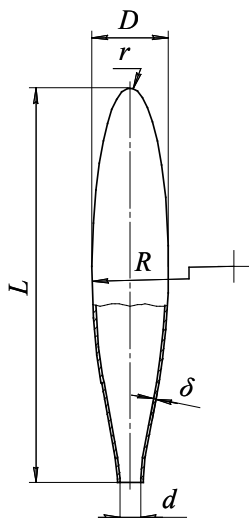


Рисунок П.4 – Схематичний ескіз корпусу ракети

Але цей ескіз зразу ж ставить багато технічних питань:

- який матеріал вибрати для виробу;
- якої товщини повинні бути стінки корпусу ракети;
- яку площу поперечного перерізу повинен мати отвір вихідного патрубку;
- який тиск слід створювати стиснутим повітрям;
- скільки води слід заливати в корпус ракети;
- коли і чи потрібно перейти від теоретичних вишукувань до проведення експерименту.

А також слід відповісти на економічне питання: який буде попит на виріб?

Інженерний аналіз

Так як виготовлення корпусу літального апарату є затратним процесом, який може неодноразово повторюватись при

експериментальних роботах, тому значно вигідніше для підприємства-виробника на першому етапі виконати теоретичні вишукування за допомогою «паперу та олівця».

Вибір матеріалу. При виборі матеріалу для корпусу іграшкової ракети в першу чергу повинні бути враховані питання безпеки використання. Тому вибираємо полімерні матеріали, які є високотехнологічними, міцними, легкими і безпечними, а також мають широкий діапазон властивостей. Окрім того вони широко використовуються при виробництві іграшок, і що не маловажно, виробництво компанії «Парк Пластикс» спеціалізується на використанні полімерів при виготовленні виробів.

Розглянемо властивості двох типових та різних за властивостями полімерів, стосовно їх використання при виготовленні іграшки:

Полістирол – недорогий жорсткий крихкий полімер з невеликою механічною міцністю та низькою питомою вагою ($\rho = 1060 \text{ кг/м}^3$). Поряд із його дешевизною та низькою густиною неоліком є невелика механічна міцність та крихкість. Іграшка з цього матеріалу може розколотись при ударі.

Полібутират – значно дорожчий полістиролу та дещо важчий ($\rho = 1200 \text{ кг/м}^3$), але має високу стійкість до розтріскування, гнучкість, зносостійкість, вогнетривкість. Тобто він здатний витримувати значні ударні навантаження. До того ж має вагомні переваги: при збільшенні тиску вище допустимого оболонка з цього матеріалу не розтріскується, а починає пластично деформуватись (випинатись); безпечний з точки зору санітарно-гігієнічних вимог (використовується в харчовій промисловості); вогнестійкий, тому має вагому позитивну роль у питаннях безпеки під час розваги дітей.

Такий простий аналіз свідчить на користь полібутирату, який і вибираємо для подальшої розробки.

Визначення товщини стінки корпусу. На той час виробничий досвід показував, що дуже складно виготовити пластмасові вироби, товщини стінок яких менше 1,1 мм. Значить, у першій пропозиції приймаємо мінімальну з погляду зручності виробництва товщину стінки $\delta = 1,1 \text{ мм}$.

Встановлення геометричних розмірів. За аналогією з виробами цього класу (іграшки у вигляді літального апарата), з врахуванням зручності їх використання, збереження наближених пропорцій та власного досвіду попередньо призначаємо геометричні розміри (рис. П.4) майбутнього виробу:

- загальна довжина ракети $L = 200 \text{ мм}$;
- максимальний діаметр циліндричної частини ракети $D = 50 \text{ мм}$;
- радіус заокруглення корпусу ракети $R = 240 \text{ мм}$;

- радіус закруглення корпусу біля вершини $r = 20$ мм;
- діаметр отвору вихідного патрубка $d = 1,8$ мм;
- товщина стінки $\delta = 1,1$ мм.

Корпус ракети з такими геометричними розмірами має наступні похідні геометричні параметри:

Загальний об'єм ракети, що визначаємо через об'єм описаного циліндра

$$V_k = \left(\pi D^2 / 4 \right) L k_v, \quad (\text{П.1})$$

де k_v – коефіцієнт об'єму корпусу по відношенню до об'єму описаного циліндра, який можна визначити графічним методом.

Наприклад, він становить $k_v \approx 0,75$.

Тоді

$$V_k = \left(\pi 50^2 / 4 \right) 200 \cdot 0,75 \approx 3 \cdot 10^5 \text{ мм}^3 = 300 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Площу зовнішньої поверхні визначаємо аналогічним методом через площу поверхні описаного циліндра

$$S_k = \left(\pi D L + \pi D^2 / 2 \right) k_s, \quad (\text{П.2})$$

де k_s – коефіцієнт поверхні виробу по відношенню до поверхні циліндра.

Коефіцієнт поверхні визначається аналогічно коефіцієнту k_v графічним методом. Наприклад, він становить $k_s \approx 0,9$.

Таким чином,

$$S_k = \left(\pi \cdot 50 \cdot 200 + \pi \cdot 50^2 / 2 \right) 0,9 = 31792,5 \text{ мм}^2 \approx 32 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

Об'єм полімерної стінки оболонки

$$V_{об} \approx S_k \delta, \quad (\text{П.3})$$

$$V_{об} \approx 32 \cdot 10^{-3} \cdot 1,1 \cdot 10^{-3} = 35,2 \cdot 10^{-6} \approx 35 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Внутрішній об'єм корпусу (об'єм порожнини) ракети

$$V_{п} = V_k - V_{об}, \quad (\text{П.4})$$

$$V_{п} = 300 \cdot 10^{-6} - 35 \cdot 10^{-6} = 265 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Визначення необхідного тиску енергоносія. В якості енергоносія використовується стиснуте повітря, що нагнітають у порожнину корпусу ракети доступним способом.

Інформаційний пошук показує, що для невеликих пластмасових виробів із полібутирату допустимий тиск становить $0,28 \dots 0,38 \text{ МПа}$. Практично всі можливі в побуті способи нагнітання повітря не

дають можливості отримати тиск, що перевищує вказаний. А це є ще одним доказом безпечної експлуатації майбутнього виробу.

Тому в подальших розрахунках використовуємо значення тиску $p = 0,28 \text{ МПа}$.

Визначення кількості води. Скільки води потрібно залити в корпус ракети?

Якщо воду не заливати взагалі, то висота польоту буде мінімальною, оскільки із сопла буде вириватись дуже мала маса стиснутого повітря. Якщо ж залити багато води, то ракета буде занадто важка, а мала кількість стиснутого повітря, що робить енергію незначною, також негативно вплине на висоту підйому.

Існує, безумовно, деяка оптимальна кількість води, що забезпечує підйом ракети на максимальну висоту. Знаходження оптимуму на цьому етапі немає сенсу. Тому, поставимо задачу визначення реальної необхідної висоти підняття ракети, наприклад, $h \approx 10 \text{ м}$, що викликатиме зацікавленість у дітей.

Для цього не обов'язково знаходити абсолютний оптимальний варіант, слід тільки визначити деяке прийнятне значення в межах зазначеної висоти.

Припустимо, що надлишковий тиск стиснутого повітря в порожнині ракети змінюється від $p_{\text{п}} = 0,28 \text{ МПа}$ на початку до $p_{\text{к}} = 0,08 \text{ МПа}$ в кінці польоту, коли в порожнині ракети не залишиться води.

Отже, об'єм стиснутого повітря змінюється від деякого невідомого значення V_0 до відомого значення V_1 , що дорівнює об'єму внутрішньої порожнини ракети $V_{\text{п}}$.

Припускаємо, що розширення стиснутого повітря відбувається з такою швидкістю, що теплообміном із навколишнім середовищем можна знехтувати, тобто процес є адіабатним. Таким чином, початковий об'єм V_0 стиснутого повітря можна визначити з рівняння адіабати:

$$p_0(V_0)^k = p_1(V_1)^k. \quad (\text{П.5})$$

де p_0 – абсолютний тиск стиснутого повітря перед початком польоту,

$$p_0 \approx p_{\text{п}} + 0,1 = 0,38 \text{ МПа};$$

$p_1 \approx p_{\text{к}} + 0,1 = 0,18 \text{ МПа}$ – абсолютний тиск стиснутого повітря в кінці польоту після викиду води;

$k = 1,4$ – показник адіабати для сухого повітря при нормальних умовах.

Тоді з формули (П.5) отримуємо

$$V_0 = V_1(p_1/p_0)^{1/k} = V_1(0,18/0,38)^{1/1,4} \approx 0,6V_1 = 0,6V_{\text{п}}.$$

Таким чином, цілком розумно припустити, що початкове заповнення водою повинно складати близько 40% об'єму порожнини ракети.

Визначення висоти підйому ракети. Висоту підйому ракети h можна визначити (без врахування опору повітря) з рівняння рівносповільненого руху

$$h = v_R^n t - gt^2/2, \quad (\text{П.6})$$

де v_R^n – початкова швидкість ракети, м/с;

t – тривалість польоту, с;

$g = 9,81$ м/с² – прискорення вільного падіння.

Зрозуміло, що швидкість ракети залежить від швидкості витікання води. Таким чином, щоб встановити висоту підйому ракети слід визначити швидкість витікання струменя води, а також час, за який вода буде витіснена з порожнини корпусу ракети стиснутим повітрям.

Використаємо для цього закон збереження енергії та розглянемо два поперечних перерізи порожнини ракети (рис. П.5): S_0 – на межі стиснутого повітря-вода (переріз 0-0) і S_1 – на зовнішній кромці вихідного отвору (переріз 1-1).

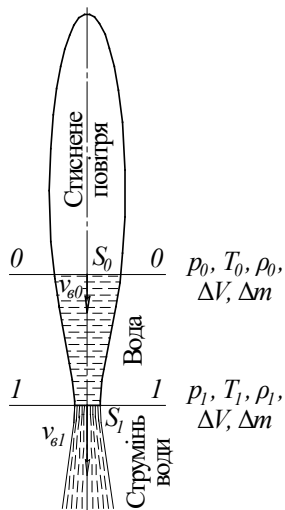


Рисунок П.5 – Розрахункова схема корпусу ракети

Для нестисливої рідини густина $\rho_0 = \rho_1 = \text{const}$, тому маємо

$$S_0 v_{s0} = S_1 v_{s1}, \quad (\text{П.7})$$

де S_0 – площа поперечного перерізу 0-0;

S_1 – площа поперечного перерізу 1-1;

v_{B0} – швидкість води в перерізі 0-0;

v_{B1} – швидкість води в перерізі 1-1.

При розширенні стиснутого повітря на елементарний об'єм ΔV маса води в порожнині корпусу зменшується на величину Δm . В перерізі 0-0 ця маса має кінетичну енергію

$$E_{K0} = \Delta m v_{B0}^2 / 2, \quad (\text{П.8})$$

і внутрішню енергію

$$U_0 = \Delta m C_V T_0, \quad (\text{П.9})$$

де C – питома ізохорна теплоємність;

T_0 – абсолютна температура води в перерізі 0-0.

У перерізі 1-1 маємо

$$E_{K1} = \Delta m v_{B1}^2 / 2, \quad (\text{П.10})$$

$$U_1 = \Delta m C_V T_1, \quad (\text{П.11})$$

Тоді, зміна повної енергії води при переході від перерізу 0-0 до перерізу 1-1 виражається так:

$$\begin{aligned} \Delta E &= (E_{K1} + U_1) - (E_{K0} + U_0) = \\ &= \Delta m v_{B1}^2 / 2 + \Delta m C_V T_1 - \Delta m v_{B0}^2 / 2 - \Delta m C_V T_0. \end{aligned} \quad (\text{П.12})$$

Враховуючи, що при витіканні температура води не змінюється ($T_0 = T_1$), отже $U_0 = U_1$. Так як швидкість води в порожнині ракети $v_{B0} \ll v_{B1}$, можна знехтувати енергією E_{K0} прийнявши її рівною нулю.

Тоді формула (П.12) набуває такого вигляду:

$$\Delta E \approx \Delta m v_{B1}^2 / 2. \quad (\text{П.13})$$

Запишемо перший закон термодинаміки для адіабатного процесу витікання рідини з порожнини ракети під дією стиснутого повітря.

$$\Delta E = \Delta Q + \Delta A, \quad (\text{П.14})$$

де ΔE – зміна повної енергії води при переході від перерізу 0-0 до перерізу 1-1 і визначається за формулою (П.13);

$\Delta Q = 0$ – підведене тепло відсутнє;

ΔA – робота, що виконується стиснутим повітрям при розширенні на елементарний об'єм ΔV .

Робота, що входить у (П.14), визначається так:

$$\Delta A = p_0 \Delta V - p_1 \Delta V = \Delta V (p_0 - p_1) = \Delta V \Delta p. \quad (\text{П.15})$$

Тепер перший закон термодинаміки для адіабатичного витікання

рідини під дією стиснутого повітря може бути записаний у такому вигляді:

$$\Delta m v_{B1}^2 / 2 = \Delta V \Delta p. \quad (\text{П.16})$$

Розділивши отримане рівняння на Δm і врахувавши, що $\Delta m / \Delta V = \rho$, отримуємо

$$v_{B1}^2 / 2 = \Delta p / \rho, \quad (\text{П.17})$$

звідки

$$v_{B1} = \sqrt{2 \Delta p / \rho}. \quad (\text{П.18})$$

Відповідно до прийнятих умов перепад тиску стиснутого повітря на початку польоту складає $\Delta p_{\text{п}} = 0,28 \text{ МПа}$, а в кінці – $\Delta p_{\text{к}} = 0,08 \text{ МПа}$; густина води $\rho_{\text{в}} = 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Тоді початкова швидкість витікання струменя води складатиме

$$v_{B1}^{\text{п}} = \sqrt{2 \cdot 0,28 \cdot 10^6 / 10^3} = 23,7 \text{ м/с},$$

кінцева –

$$v_{B1}^{\text{к}} = \sqrt{2 \cdot 0,08 \cdot 10^6 / 10^3} = 12,7 \text{ м/с}.$$

Середня швидкість витікання струменя води у першому наближенні буде дорівнювати

$$v_{B1}^{\text{сеп}} = \frac{1}{2} (v_{B1}^{\text{п}} + v_{B1}^{\text{к}}) = \frac{1}{2} (23,7 + 12,7) = 18,2 \text{ м/с}.$$

Якщо вода займає $\sim 40\%$ внутрішнього об'єму порожнини ракети, то кількісне значення об'єму води становить

$$V_{\text{в}} = 0,4 V_{\text{п}} = 0,4 \cdot 265 \cdot 10^{-6} = 106 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Час, що потрібний для витікання води через вихідний отвір в корпусі ракети, визначаємо за формулою

$$t = V_{\text{в}} / v_{B1}^{\text{сеп}} S_{\text{во}}, \quad (\text{П.19})$$

де $S_{\text{во}} = \pi d^2 / 4 = \pi (1,8 \cdot 10^{-3})^2 / 4 = 2,54 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ – площа поперечного перерізу вихідного отвору.

Тоді час

$$t = 106 \cdot 10^{-6} / 18,2 \cdot 2,54 \cdot 10^{-6} \approx 2,3 \text{ с},$$

тобто витікання води відбувається досить швидко, що дозволяє на цьому проміжку часу прийняти лінійну залежність зменшення швидкості витоку води при визначенні її середнього значення.

Для визначення початкової швидкості ракети v_R^n використаємо рівняння кількості руху.

$$m_B v_B^n = m_R v_R^n, \quad (\text{П.20})$$

де $m_B = V_B \rho = 106 \cdot 10^{-6} \cdot 1000 = 1,06 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$ – маса води;

$v_{B1}^n = 23,7 \text{ м/с}$ – початкова швидкість витікання води;

m_R – маса ракети заповненої водою.

Маса заповненої водою ракети m_R , що складається із маси води m_B та маси «сухої» ракети (маса корпусу не заповненого водою) $m_R^c = V_{об} \rho_{\text{мат}} = 35 \cdot 10^{-6} \cdot 1200 = 42 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$, визначається як сума складових

$$m_R = m_B + m_R^c = 106 \cdot 10^{-3} + 42 \cdot 10^{-3} = 148 \cdot 10^{-3} \text{ кг}. \quad (\text{П.21})$$

З формули (П.20) отримуємо початкову швидкість ракети

$$v_R^n = m_B v_B^n / m_R = 106 \cdot 10^{-3} \cdot 23,7 / 148 \cdot 10^{-3} = 17,0 \text{ м/с}.$$

Тепер, керуючись отриманими числовими даними, маємо можливість за формулою (П.6) визначити орієнтовну висоту підйому ракети

$$h = v_R^n t - g t^2 / 2 = 17,0 \cdot 2,3 - 9,81 \cdot 2,3^2 / 2 = 13,2 \text{ м}.$$

Визначаємо для контролю висоту підйому ракети, використовуючи рівняння рівності потенціальної та кінетичної енергії

$$E_{\text{п}} = E_{\text{к}}, \quad (\text{П.22})$$

Потенційна енергія визначається за виразом $E_{\text{п}} = m_R g h$, а кінетична відповідно до формул (П.10) та (П.16) так: $E_{\text{к}} = (p_0 - p_1) V_B$.

Тоді (П.22) набуває вигляду $m_R g h = (p_0 - p_1) V_B$, звідки висота підйому ракети

$$h = (p_0 - p_1) V_B / m_R g. \quad (\text{П.23})$$

Підставляючи числові значення величин, що входять у формулу (П.23), отримуємо

$$h = (0,38 - 0,18) \cdot 10^6 \cdot 106 \cdot 10^{-6} / 148 \cdot 10^{-3} \cdot 9,81 = 14,6 \text{ м}.$$

Отримане розрахунковим методом значення висоти підйому ракети орієнтовно складає 14 м, що є цілком прийнятним для розгляданого виробу.

Висновок

Враховуючи прийнятну висоту підйому, простоту конструкції та технологічність виготовлення технічного рішення згідно з патентом *ФРН*, а також наявність потенційного попиту на цей виріб, ліцензію на виробництво іграшкового літального апарата доцільно придбати і приступити до складання бізнес-плану здійснення цього проекту.

Post scriptum

Подальший хід подій показав правильність висновку. Інтерес громадськості до ракетної техніки й космосу, що посилювався у зв'язку з запуском космічних супутників, забезпечив величезну популярність цих іграшкових ракет.

Збут іграшок за два роки зріс з 60 *тис.од.* до 700 *тис.од.*, тобто в понад 10 разів. А ще через шість років у *США* продавалося уже більше 1 *млн* повітряно-водяних ракет на рік. Від реалізації цього проекту фірма «Парк Пластикс» отримала прибуток в розмірі 2 *млн \$*. При цьому на придбання ліцензії було витрачено 20 *тис. \$*, а на підготовку виробництва 10 *тис. \$*.

Ці дані наведено тільки для того, щоб показати важливість інженерного аналізу й правильність вибраного напрямку роботи, що залежать від кваліфікації фахівців у галузі інженерної механіки.

ПРИКЛАД 2 – РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЇ ТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ АВТОМАТИЧНОГО МАНІПУЛЯТОРА ДЛЯ ДРОБОСТРУМИННОГО ОЧИЩЕННЯ ВНУТРІШНЬОЇ ПОВЕРХНІ ХІМІЧНОГО АПАРАТУ

аналіз можливих способів очищення й уточнення задачі; технологічні основи дробоструминного очищення; вивчення попиту та пропозицій; вибір технологічної схеми; деякі питання автоматизації процесу; визначення структури автоматичного маніпулятора; огляд конструкцій механізмів еліпсографу; вибір структурної схеми механічної руки автоматичного маніпулятора; опис технічної пропозиції; формулювання предмета винаходу

Механізація процесу очищення від окалини внутрішньої поверхні корпусів хімічних апаратів, які пройшли нормалізаційний відпал, є однією з найважчих завдань галузевого машинобудування, яку, незважаючи на неодноразові спроби, не вдалося вирішити протягом останніх 40 років. Схожі завдання не вирішені також на машинобудівних заводах, які виробляють посудини, що працюють під тиском, ядерні реактори, нафтоналивні цистерни, біологічні апарати і таке інше. Тому цю трудомістку й шкідливу для здоров'я людини операцію виконували переважно вручну

різними способами за використанням різних малих засобів механізації ручної праці.

Суть поставленої задачі полягає в тому, що необхідно запропонувати надійне технічне рішення на автоматичний маніпулятор, який би якісно працював у порожнині виробу при екстремальних умовах очищення. Вирішення цієї задачі дозволить створити конструкцію автоматичного маніпулятора, конкурентоздатного на ринку, та налагодити випуск і використання цього високотехнологічного виробу на вітчизняних машинобудівних заводах. У той же час він буде прототипом автоматичних маніпуляторів для потреб суміжних напрямків машинобудування.

Тут не ставиться задача запропонувати новітній маніпулятор світового стандарту, типу самохідних радіокерованих апаратів з дробоструминним соплом. Ставиться ціль подати загальні підходи до побудови пропозиції можливого технічного рішення механізації процесу очищення внутрішніх циліндричних поверхонь корпусів апаратів.

Аналіз можливих способів очищення й уточнення задачі

Корпус хімічного апарата (рис. П.6) являє собою циліндричну обичайку 1 з привареними еліптичними днищами 2, 3, одне з яких має центральний люк. Для виготовлення корпусів використовують низьковуглецеві конструкційні сталі марки 08, 10, 10Г2С1 і тому подібні, оскільки механічні властивості таких сталей майже не змінюються з часом після холодного деформування. На внутрішню поверхню корпусів наносять кислото-лугостійке захисне покриття.

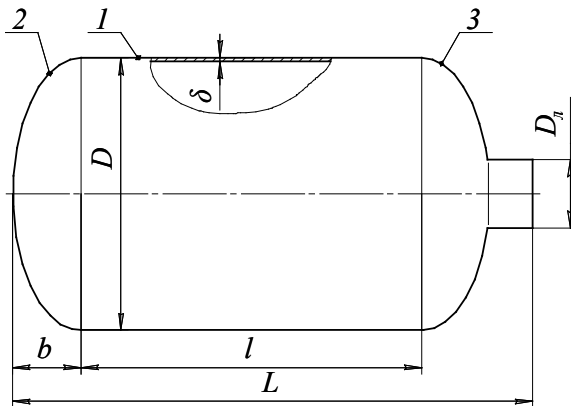


Рисунок П.6 – Корпус хімічного апарата

1 – обичайка; 2 – днище глухе; 3 – днище відкрите

Після виконання зварювальних операцій корпус хімічних апаратів піддають термічному знежиренню в режимі нормалізаційного відпа-лу, що призводить до утворення на поверхні виробу шару окалини. Перед нанесенням захисного покриття внутрішня поверхня виробу повинна бути ретельно очищена від продуктів корозії та термохіміч-ного розкладання.

Відомі такі механічні способи очищення металевої поверхні від окалини, іржі, нагару, формувальних сумішей та інших механічних забруднень: галтування, голкофрезерування, крацювання, шліфу-вання, дробоструминне очищення, дробометання, віброочищення, гідроабразивна обробка та інші методи.

Техніко-економічний аналіз зазначених способів дозволяє зроби-ти висновок про те, що найбільш технічно прийнятним й економічно вигідним є очищення від окалини внутрішньої поверхні корпусів хі-мічних апаратів дробоструминним методом. Він дозволяє не тільки очищати металеву поверхню від окалини, а й одночасно формувати на ній рівномірну шорсткість, що дуже важливо для забезпечення міцного зчеплення ґрунту захисного покриття з металевою основою.

Таким чином, необхідно запропонувати технічне рішення на ав-томатичний маніпулятор для очищення внутрішніх поверхонь вели-когабаритних циліндричних ємностей абразивним повітряно-дробо-вим факелом.

У зв'язку з цим необхідно звичайно знати технологічні основи процесу дробоструминного очищення, без яких не можливо знайти ефективне технічне рішення. Тому розробник, сподіваючись на пози-тивний результат, вивчає параметри процесу на основі уже набутого досвіду.

Технологічні основи дробоструминного очищення

Дробоструминне очищення – це технологічний процес механічної обробки вільними абразивними зернами, який полягає в тому, що по-тік абразивних частинок-дрибинок розганяється за допомогою стис-нутого повітря через спеціальні канали-сопла до необхідної швидко-сті й спрямовується на поверхню, що підлягає обробці. При цьому, крім пластичного деформування, відбувається масове швидкісне зні-мання елементарних об'ємів матеріалу окремими дробинками.

На рисунку П.7 схематично зображено дробоструминний факел, де показано циліндричне сопло з робочим діаметром d_c , з якого ви-літає у вигляді конічного факела з кутом розкриття 2γ повітряно-а-бразивна суміш. Діаметр сопла d_c вибирають залежно від розмірів дробу і, як правило, приймають рівним 6...12 мм.

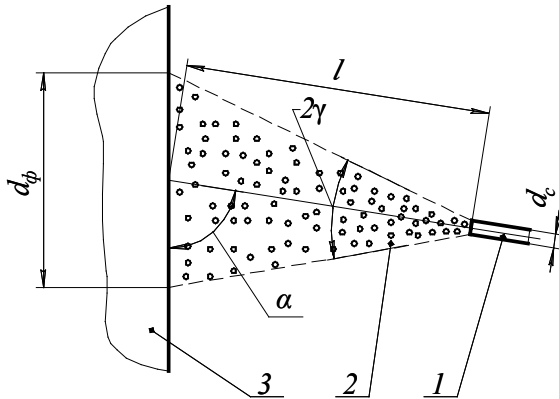


Рисунок П.7 – Схематичне зображення дробоструминного факелу

1 – сопло; 2 – факел; 3 – поверхня, яку обробляють;

2γ – кут розкриття факелу; α – кут атаки

Найбільшу початкову швидкість v_0 дріб досягає на відстані ≈ 10 мм від зрізу сопла після вирівнювання тиску стисненого повітря з тиском навколишнього середовища. Далі швидкість дробу v падає за експоненціальним законом

$$v = v_0 e^{kl/m}, \quad (\text{П.24})$$

де v_0 – найбільша початкова швидкість дробинки, м/с;

e – основа натурального логарифму;

k – коефіцієнт пропорційності, що визначається експериментальним шляхом, кг/м;

l – відстань, пройдена рухомою дробинкою, м;

m – маса дробинки, кг.

Як видно з рисунку П.7, чим більша відстань від сопла до оброблюваної поверхні, тим більшу її площу охоплює відбиток факела. Водночас зменшується концентрація дробу в одиниці об'єму потоку енергоносія та знижується швидкість дробу. З огляду на викладене, на практиці дотримуються відстані від сопла до оброблюваної поверхні $\sim 0,25 \dots 0,4$ м. Незважаючи на зменшення швидкості дробинки на цій відстані, приблизно на 20...30% від початкової, це дає можливість раціонально використати енергію стисненого повітря, оптимально охопити факелом оброблювану поверхню та ефективно використовувати ріжучі властивості дробу.

Продуктивність дробоструминного очищення залежить від багатьох факторів: фізико-хімічних та механічних властивостей оброблюваної поверхні; твердості та міцності, розміру та форми

абразивних частинок – дробу; тиску стисненого повітря; відстані від сопла до поверхні.

Для виготовлення дробу використовують різні матеріали: сталь, чавун, скло, що споріднені за хімічним складом з поверхнею, яку обробляють. Вони мають досить високу міцність і твердість, близько 45...50 одиниць за Роквеллом, що достатньо для процесу різання та пластичного деформування поверхневих шарів виробу. Розмір дробу характеризують діаметром описаної кулі, наприклад, якщо цей діаметр буде 2 мм, то дріб прийнято називати фракцією №2.

З цієї точки зору найбільш ефективним дробом для очищення поверхні виробів з низьковуглецевої сталі 10 від окалини є висококремнієва сталева колота дріб марки ДСК-17. Як показує практика технологічного процесу дробоструминної обробки, очищення металевих поверхонь з маловуглецевих сталей після нормалізаційного відпалу має найбільш високу технологічну продуктивність при використанні дробу фракції №1. Для міцного зчеплення ґрунту захисного покриття з металевою основою остання ретельно очищається і на ній повинна бути утворена рівномірна шорсткість. Для цього з поверхні виробу необхідно зняти шар товщиною не менше $\delta = 0,5$ мм.

Якщо взяти рекомендовану фракцію №1 дробу ДСК-17, то сопло з циліндричним отвором діаметра $d_c = 8...12$ мм викидатиме при робочому тиску енергоносія $P = 0,4...0,6$ МПа загальну масу дробу $q = 25...30$ кг/хв та забезпечуватиме об'ємну продуктивність $Q_v = (0,5 \dots 1,0) 10^{-4}$ м³/хв.

Це дає при глибині обробки $\delta = 0,5$ мм технологічну поверхневу продуктивність $Q_f = 0,1...0,2$ м²/хв. Така продуктивність досягається при швидкості переміщення відбитку факелу дробоструминного сопла відносно поверхні, яку обробляють, $v_\phi = 1...2$ м/хв та фактичному відбитку факела на поверхні $d_\phi = 0,1$ м, що має місце при відстані від сопла до поверхні $l_\phi = 0,3$ м.

Середнє арифметичне відхилення профілю поверхні Ra , яку обробляють, залежить від фракційного складу абразивних частинок і розраховується за формулою

$$Ra = \psi d_{др}, \quad (П.25)$$

де $d_{др}$ – діаметр описаного навколо дробинки сфери;

$\psi \approx 0,1$ – коефіцієнт пропорційності.

Для надійного зчеплення ґрунту захисного покриття з металевою основою, товщина якого становить, наприклад, $\delta_{гр} = 200$ мкм, необхідно мати певну шорсткість металевої поверхні виробу, а саме:

$$Ra = 0,4 \delta_{гр} = 0,4 \cdot 200 = 80 \text{ мкм.}$$

Таку шорсткість, згідно з формулою (П.25), можна отримати при розмірі абразивних частинок $d_{др} = 800$ мкм, що близько до умови

найвищої продуктивності дробоструминного очищення з використанням фракції дробу №1.

Щоб досягти ефективної дії абразивних частинок і одночасно підвищити стійкість дробу, а також зменшити наклеп і шаржування оброблюваної поверхні осколками дробу, факел дробоструминного сопла треба направляти на оброблювану поверхню під кутом атаки α , величина якого для маловуглецевої сталі 10 становить $45^\circ \dots 60^\circ$.

Відзначимо, що дробоструминне очищення характеризується інтенсивним рикошетом ріжучого дробу, підвищеною запиленістю робочої зони і підвищеним рівнем шуму ~ 100 дБ та вимагає уловлювання та регенерації відпрацьованих дробинок, які в процесі очищення подрібнюються.

Такі технологічні параметри дробоструминного очищення покладемо в основу розробки пропозиції технічного рішення механізації очищення внутрішніх циліндричних поверхонь корпусів апаратів.

Вивчення попиту та пропозиції

Як було зазначено, дробоструминне очищення характеризується інтенсивним рикошетом дробинок зі швидкістю приблизно $30 \dots 50$ м/с, значним виділенням пилу, концентрація якого в робочій зоні перевищує гранично допустиму майже в 10^3 рази і підвищеним рівнем шуму – до 100 дБ. Крім того, дробоструминний інструмент (сопло і рукав) мають масу не менше 10 кг, а сам процес чищення металевої поверхні від окалини вимагає постійної уваги для оцінки якості оброблення. Особливо небезпечними і важкими умовами роботи характеризується дробоструминне очищення внутрішньої поверхні виробу, коли людина знаходиться всередині, наприклад, у корпусі хімічного апарату. Умови праці чистильника виробу класифікуються як шкідливі, а працівники цих професій мають соціальні пільги.

Незважаючи на такі екстремальні умови робочої зони, процес дробоструминного очищення здійснюється за участю людини. Тому дробоструминну обробку виконують у спеціальних скафандрах, куди подають свіже повітря, а сам процес ручного дробоструминного очищення належить до категорії трудомістких та шкідливих для здоров'я.

Механізація й автоматизація технологічного процесу дробоструминного очищення внутрішньої поверхні корпусних виробів, таких як хімічні апарати, ядерні реактори, нафтоналивні цистерни й тому подібне за допомогою автоматичних маніпуляторів дала б можливість вирішити цю складну технічну і соціальну проблему.

Отже, впровадження автоматичних маніпуляторів дозволяє вивести людину з небезпечної робочої зони, зменшуючи професійні захворювання, підвищує продуктивність праці, як мінімум у 2 рази, суттєво поліпшує якість обробки металевої поверхні, покращує умови праці, зменшує забруднення навколишнього середовища і таке інше.

Вибір технологічної схеми

Безумовно, для здійснення дробоструминного очищення поверхні металевих виробів різної конфігурації необхідні різні траєкторії переміщення відбитка факела дробоструминного сопла по поверхні, що обробляється, за дотриманням умови, що відбиток факела не повинен проходити двічі одну й ту ж частину поверхні.

Слід зазначити, що для механізації процесу дробоструминного очищення траєкторія руху відбитка факела по оброблюваній поверхні набуває вирішального значення. Вона повинна бути упорядкованою і досить простою. Від складності траєкторії залежить реальність створення виконавчого механізму.

Корпуси хімічних апаратів виконані у вигляді тіл обертання, твірними яких є еліптичні криві та прямі лінії. Тому вважаємо, що найбільш раціональними траєкторіями переміщення відбитка факела по поверхні будуть розімкнуті криві з постійним кроком (рис. П.8), якими є гвинтова спіраль для обичайки і спіраль Архімеда для днищ.

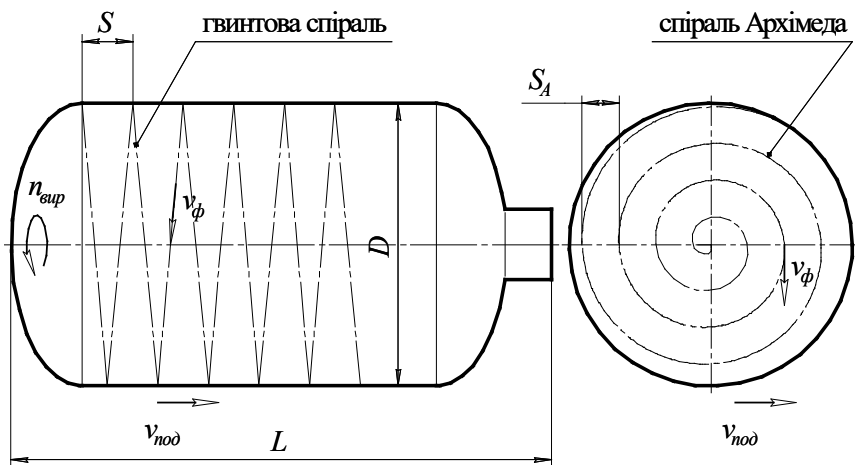


Рисунок П.8 – Схема очищення внутрішньої поверхні корпусу хімічного апарата

Відповідно до термінології, яка прийнята в теорії різання металів, головним рухом при дробоструминному очищенні поверхні тіла обертання буде обертальний рух інструмента або виробу, а рухом подачі – переміщення відбитка факела по твірній кривій поверхні, яку обробляють.

Складання цих двох рухів повинно приводити до описування відбитком факела на поверхні днищ спіралі Архімеда, а на поверхні обичайки – гвинтової спіралі. При цьому треба враховувати, що для дотримання умови безпечної роботи корпус хімічного апарату повинен обертатися з лінійною швидкістю обичайки $v_{об} \leq 10 \text{ м/хв}$. Визначимо допустиму частоту обертання корпусу (виробу) $n_{вир}$ в широковживаному діапазоні його діаметрів 1,2...4 м. Таким чином, допустима частота обертання виробу (корпусу хімічного апарату) складатиме:

при діаметрі обичайки $D = 1,2 \text{ м}$

$$n_{вир} = v_{об} / \pi D = 10 / \pi \cdot 1,2 = 2,65 \text{ хс}^{-1};$$

при діаметрі обичайки $D = 4,0 \text{ м}$

$$n_{вир} = v_{об} / \pi D = 10 / \pi \cdot 4,0 = 0,8 \text{ хс}^{-1}.$$

Рівномірної обробки поверхні виробу типу тіла обертання можна досягти за умови, коли відбиток факела буде рухатися зі швидкістю $v_{\phi} = 1...2 \text{ м/хв}$ по розімкнутій спіралі, крок якої S не повинен бути більше реального діаметра відбитка факела $S \leq d_{\phi} = 0,1$ і одночасно по твірній кривій зі швидкістю подачі $v_{п}$, яка забезпечує необхідне перекриття факелом поверхні.

Враховуючи, що початковий діаметр обробки $d_{п}$ повинен дорівнювати половині реального діаметра відбитка факела d_{ϕ} , тобто $d_{п} = 0,5d_{\phi} = 0,05 \text{ м}$, то частота головного руху на початку очищення повинна бути в межах:

при швидкості переміщення факелу (очищення) $v_{\phi} = 1 \text{ м/хв}$

$$n_{вир} = v_{\phi} / \pi d_{п} = 1 / \pi \cdot 0,05 = 6,37 \text{ хс}^{-1};$$

при швидкості переміщення факелу (очищення) $v_{\phi} = 2 \text{ м/хв}$

$$n_{вир} = v_{\phi} / \pi d_{п} = 2 / \pi \cdot 0,05 = 12,7 \text{ хс}^{-1}.$$

У зв'язку з тим, що допустима частота обертання виробу 2,65 і $0,8 \text{ хс}^{-1}$ не може забезпечити необхідну швидкість переміщення відбитка факела $v_{\phi} = 1...2 \text{ м/хв}$ по поверхні, то головний рух при цьому повинен здійснювати інструмент. А додаткове обертання виробу з безпечною частотою дозволить більш рівномірно обробляти

поверхню і використовувати ефект галтування поверхні відпрацьованим дробом, що знаходиться в порожнині виробу.

Деякі питання автоматизації процесу

Відповідно до технологічної схеми обробки відбиток факела дробоструминного сопла повинен пересуватися з постійною лінійною швидкістю v_ϕ по спіралі Архімеда на еліптичних днищах і по гвинтовій спіралі на циліндричній обичайці. Такий рух спіралями має бути узгодженим з рухом подачі відбитка факела (швидкістю) v_n уздовж твірної виробу, яка забезпечує рівномірне перекриття оброблюваної поверхні. Ці два рухи повинні виконувати пристрої які несуть інструмент, тобто дробоструминне сопло. Цими пристроями можуть бути або самохідний візок на магнітних рухомих подушках, або механічна рука автоматичного маніпулятора. Зупинимося на останньому.

З огляду на те, що оброблюваної поверхні торкається факел, а не сам інструмент, то головний рух і рух подачі факела буде здійснювати механічна рука, ведену ланку якої потрібно переміщувати по еквідистантній лінії до поверхні, що обробляють. Відстань від інструмента (зрізу сопла) до поверхні, яку обробляють, приймають, як уже наголошувалося, рівною $l_\phi = 0,25...0,4$ м відповідно до технологічних рекомендацій.

Якщо для циліндричної частини виробу механічну руку автоматичного маніпулятора можна виконати у вигляді жорсткої ланки, з'єднаної шарніром зі штангою маніпулятора (для можливості введення через центральний люк), то еліптичні поверхні днища вимагають спеціальної механічної руки, яка повинна бути виконаною у вигляді еліпсографа. При цьому задача ускладнюється тим, що механічна рука повинна складатися до таких розмірів, щоб вона могла вільно пройти через центральний люк виробу.

Після опису четвертої частини еліптичної кривої механічна рука повинна зафіксувати своє положення для можливості пересування уздовж прямої лінії еквідистантної твірній циліндричній обичайки. Враховуючи екстремальні умови дробоструминного очищення, можна відзначити, що завдання механізації й автоматизації процесу очищення порожнини виробу типу тіл обертання стає багатопараметричною конструкторською задачею.

На цій основі формулюємо основні вимоги до технічного рішення на виконання поставленого завдання, а саме:

- механічну руку автоматичного маніпулятора виконати у вигляді еліпсографа;
- еліпсограф повинен мати таку конструкцію, щоб з його

допомогою можна було також обробити циліндричну частину виробу, тобто обичайку;

- механізм еліпсографа повинен складатися так, щоб його можна було вільно завести в порожнину виробу через центральний люк, діаметр якого змінюється в межах 400...600 мм, залежно від габаритів корпусу;
- з огляду на екстремальні умови дробоструминного очищення, ланки механічної руки, тобто ланки механізму еліпсографа, треба з'єднувати за допомогою обертальних кінематичних пар;
- механічна рука повинна здійснювати рухи – головний рух і рух подачі, які при складанні повинні забезпечувати пересування вихідної ланки руки по розімкнутій спіралі з постійним кроком і постійною лінійною швидкістю по еквідистантних лініях до оброблюваної поверхні;
- ланки механічної руки виконати телескопічними для можливості переналагодження;
- центральну частину механічної руки діаметром 60 мм звільнити для монтажу гумотканного рукава повітряно-абразивної суміші.
- механічна рука повинна забезпечувати оптимальний кут атаки дробоструминним факелом поверхні, яку обробляють.

Визначення структури автоматичного маніпулятора

Автоматичний маніпулятор (*АМ*), на який розробляємо технічну пропозицію, буде входити до складу технологічного комплексу (*ТК*), що буде виконувати дробоструминне очищення внутрішньої поверхні корпусів хімічних апаратів у напівавтоматичному режимі, а також здійснювати деякі супутні операції, що забезпечують основний процес, а саме:

- видаляти та регенерувати відпрацьований дріб із порожнини виробу;
- відсмоктувати утворений металевий пил;
- видаляти металевий пил, який у результаті магнітних явищ прилипає до поверхні виробу;
- контролювати якість обробки та інші.

Безумовно, що головною складовою частиною *ТК* буде автоматичний маніпулятор. Для того, щоб технічну пропозицію на *АМ* було погоджено з іншими складовими частинами, необхідно показати його структуру. Ця структура буде відправним пунктом для розробки інших засобів технологічного оснащення, які входять у *ТК* і розробка яких з метою скорочення термінів проектування виконується одночасно з проектуванням автоматичного маніпулятора.

Аналіз можливих положень виробу в просторі в процесі обробки дозволить зробити висновок про те, що найкращим буде горизонтальне, злегка нахилене положення корпусу хімічного апарата в бік відкритого днища ($3^\circ \dots 5^\circ$). Інший висновок, який був зроблений при попередньому опрацюванні: виріб, що обробляють (корпус хімічного апарата), буде нерухомим у поздовжньому напрямку і буде з безпечною частотою обертатися навколо своєї осі.

Технологічна схема, а також сформульовані вище відомості дозволяють уявити структурну схему автоматичного маніпулятора (рис. П.9), який повинен мати у своєму складі такі вузли: механічна рука 1, несуча штанга 2, механізм обертання штанги 3, привід механічної руки 4, засіб з механізмом підйому-опускання штанги 5, пересувна платформа 6. Корпус хімічного апарату повинен мати спеціальне установче пристосування – роликівий стенд 7.

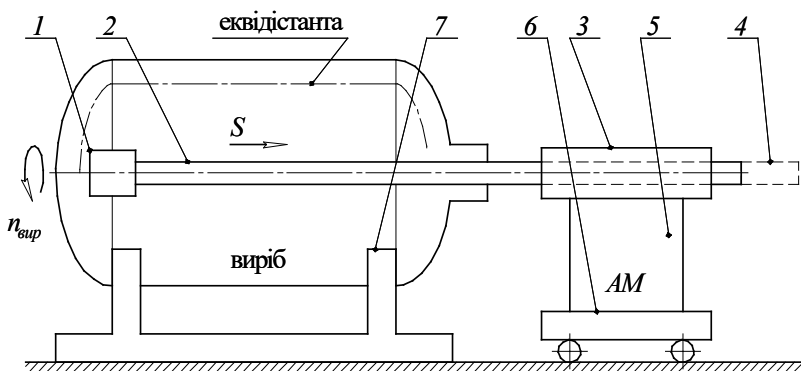


Рисунок П.9 – Структурна схема автоматичного маніпулятора

Вихідне положення перед очищенням порожнини виробу: корпус хімічного апарату встановлено на роликівий стенд, автоматичний маніпулятор займає праве крайнє положення, а механічна рука складена і знаходиться за межами виробу.

Робочий цикл відбувається так. Маніпулятор починає рухатися справа наліво з маршовою швидкістю і заводить за допомогою штанги механічну руку, яка несе дробоструминне сопло до глухого днища. Тут маніпулятор зупиняється на оптимальній відстані від інструменту (зрізу сопла) до поверхні, яку обробляють. Виробу надають повільного обертання навколо своєї осі і подають повітряно-абразивну суміш до інструмента, а також починають обертальний рух штанги. Механічна рука автоматичного маніпулятора з дробоструминним соплом починає рух по еквідистанті до еліптичної кривої глухого днища й одночасно обертається зі змінною

(спадною) частотою, яка забезпечує постійну лінійну швидкість переміщення факела $v_\phi = 1...2 \text{ м/хв}$. При цьому кутову швидкість головного руху механічної руки ω зменшують пропорційно збільшенню радіуса обробки R , виходячи із співвідношення

$$v_\phi = \omega R, \quad (\text{П.26})$$

де v_ϕ – лінійна швидкість переміщення факела, м/с;

ω – кутова швидкість головного руху механічної руки, с-1;

R – поточний радіус обробки, м;

Швидкість подачі v_n , тобто поточну лінійну швидкість руху відбитку факела по твірній, змінюють за таким законом:

$$v_n = S_A/t = S_A v_\phi / 2\pi R, \quad (\text{П.27})$$

де S_A – крок архімедової спіралі;

t – час переходу факелу з одного витка на інший, хв.

Час t переходу з одного витка на інший визначається так:

$$t = 2\pi R / v_\phi. \quad (\text{П.28})$$

Складання головного руху й руху подачі при дотриманні зазначених співвідношень призводить до того, що механічна рука змушує відбиток факела дробоструминного сопла описувати на глухому днищі спіраль Архімеда (рис. П.8) з кроком S_A , який повинен бути не більшим реального діаметра d_ϕ відбитка, $S_A \leq d_\phi$.

Як тільки механічна рука опише четверту частину твірної еліпса, тобто обробить глухе днище, її розворот (рух по еквідистанті) припиняється, а рух подачі зі швидкістю v_n вздовж циліндричної частини починає здійснювати автоматичний маніпулятор за допомогою пересувної платформи. При цьому рука обертається навколо осі виробу, відбиток факела описує гвинтову спіраль на обичайці з кроком S . При цьому співвідношення частоти обертання руки і подачі ті ж самі, що і для спіралі Архімеда.

Після очищення обичайки автоматичний маніпулятор зупиняється і механічна рука починає рух по еліптичній кривій еквідистантній твірній відкритого днища, тобто обробляє відкрите днище при дотриманні тих же співвідношень частоти обертання і подачі, що і для глухого днища, але у зворотному порядку.

Після закінчення оброблення відкритого днища подача повітряно-абразивної суміші до дробоструминного сопла припиняється. Механічна рука складається, і маніпулятор із маршовою швидкістю виводить її з порожнини виробу, вертаючись у початкове положення. Робочий цикл автоматичного маніпулятора закінчено.

Описані переходи дають можливість скласти циклограму роботи автоматичного маніпулятора, яка зображена на рисунку П.10.

Безумовно, що головною складовою частиною автоматичного маніпулятора буде механічна рука. Інші вузли маніпулятора за складністю належать до рядового інженерного проектування. У ролі механізмів обертання й підйому-опускання штанги, а також переміщення маніпулятора можна застосувати ті модулі, що випускаються машинобудівною промисловістю. Тому зосередимо всю нашу увагу на конструкції механічної руки, для чого розглянемо декілька конструкцій відомих механізмів для описування еліпсів, які можуть знайти застосування для механічної руки автоматичного маніпулятора.

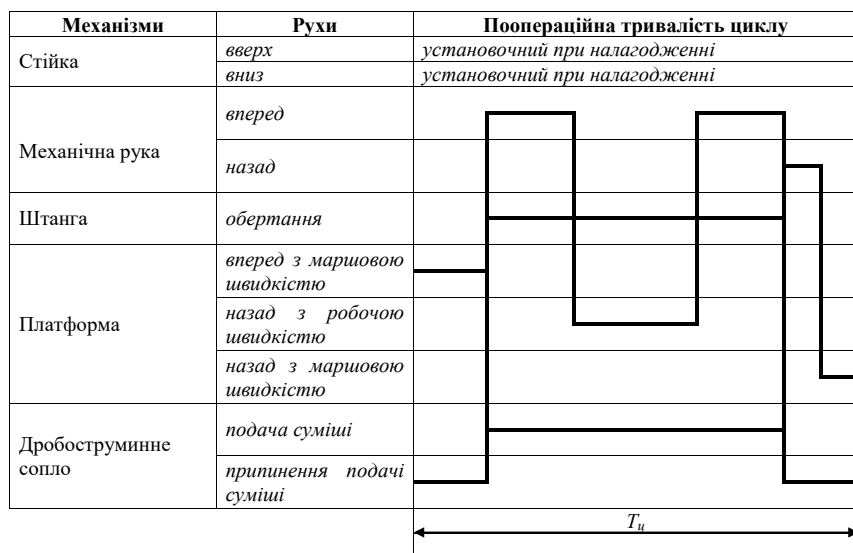


Рисунок П.10 – Циклограма роботи автоматичного маніпулятора

Огляд конструкцій механізмів еліпсографа

На рисунку П.11 показано чотириланковий механізм еліпсографа. Повзуни 1 і 2 ковзають уздовж нерухомих напрямних a і b нерухомої ланки 4, осі яких взаємно перпендикулярні. Точки ланки 3 описують еліпси з центром в точці O і півосями, довжини яких відповідно дорівнюють відстаням вибраної точки від точок A і B .

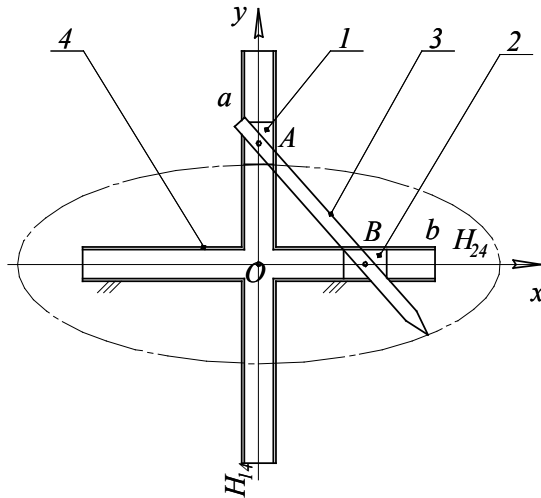


Рисунок П.11 – Чотириланковий механізм еліпсографа

1, 2 – повзуни, 3 – жорстка рухома ланка, 4 – нерухома ланка

На рис. П.12 показано кривошипно-повзунний механізм еліпсографа. Довжини ланок механізму задовольняють умову $AB = BC = BF$. Точка F шатуна 2 рухається уздовж осі y .

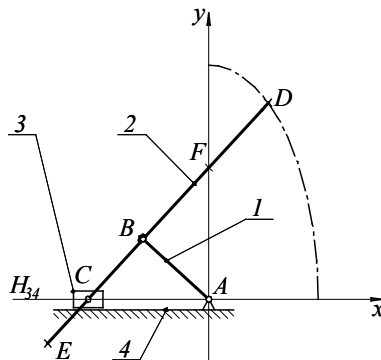


Рисунок П.12 – Кривошипно-повзунний механізм еліпсографа

1 – кривошип, 2 – шатун, 3 – повзун, 4 – нерухома ланка

Точки D і E шатуна описують еліпси, рівняння яких

$$\frac{x^2}{FD^2} + \frac{y^2}{CD^2} = 1; \quad \frac{x^2}{FE^2} + \frac{y^2}{CE^2} = 1. \quad (\text{П.29})$$

Решта точок шатуна 2 описує також еліпси, які по різному зорієнтовані відносно осей x і y , а точка B описує еліпс з рівними півосями, тобто, коло.

На рис. П.13 зображено інший кривошипно-повзунний механізм еліпсографа. Довжини ланок механізму задовольняють умовам $OA=AC=L$ та $AD=DK=KB=BA=a$, коли $a < 0,5L$. Кривошип 1 обертається навколо нерухомої точки O . Повзун 2 ковзає уздовж нерухомої направляючої P . При обертанні кривошипа 1 точка K описує еліпс, рівняння якого

$$x^2/L^2 + y^2/(L-2a)^2 = 1. \quad (\text{П.30})$$

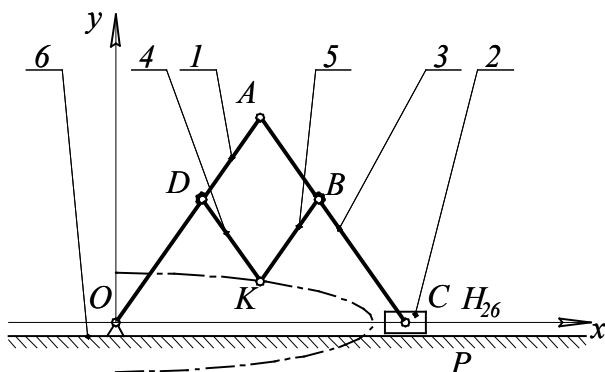


Рисунок П.13 – Кривошипно-повзунний механізм еліпсографа

1 – кривошип, 2 – повзун, 3 – шатун, 4 – зв'язок лівий, 5 – зв'язок правий, 6 – нерухома ланка

Як бачимо, розглянуті механізми еліпсографа мають досить громіздку конструкцію, що не дає можливості складатися при проходженні через центральний люк корпусу хімічного апарата. До того ж ці еліпсографи мають у своєму складі кінематичні пари поступального руху, які не можуть бути ефективно використані в екстремальних умовах дробоструминної обробки через труднощі їх надійного ущільнення. Відсутність поступальних пар є одним з пунктів обмежень. Тому продовжимо в наступному розділі пошук оригінальних конструкцій механічної руки, тобто механізмів еліпсографа, які задовольняють вище поставлені вимоги.

Вибір структурної схеми механічної руки автоматичного маніпулятора

Опираючись на попередній огляд, розглянемо, а потім і виберемо структуру механічної руки, яка б відповідала технологічним

умовам процесу дробоструминного очищення порожнини хімічного апарату (днищ і обичайки).

Твірною днищ є еліпсоподібна крива другого порядку, і щоб її описала механічна рука, механізм еліпсографа повинен мати два ступеня свободи, тобто можливість створювати рух за двома координатами.

За формулою Чебишева, ступінь свободи W плоского механізму визначається за формулою:

$$W = 3n - 2p_5 - p_4, \quad (\text{П.31})$$

де n – кількість рухомих ланок;

p_4, p_5 – кількість кінематичних пар відповідно 4 і 5 класу.

Тоді, при $W = 2$ і мінімальній кількості рухомих ланок $n = 2$, визначаємо, що за відсутності пар четвертого класу ($p_4 = 0$ шт.) кількість кінематичних пар п'ятого класу повинно складати $p_5 = 2$ шт.

Таким чином, механізм еліпсографа можна реалізувати за допомогою двох рухомих ланок, які будуть з'єднані між собою і з нерухомою ланкою або стійкою однорухомими кінематичними парами.

Зобразимо можливі структурні схеми механічної руки на рисунку П.14. Розглядаючи ці схеми, відзначимо, що варіант 1 має певні переваги перед іншими. У ньому відсутні поступальні кінематичні пари, які важко ущільнювати, і його ведена ланка дає найменше відхилення від нормалі до еліптичної твірної днища, тобто має найкращу можливість для встановлення оптимального кута атаки α поверхні факелом дробоструминного сопла. Тому далі аналізуємо тільки варіант 1.

Механізм еліпсографа має дві рухомі ланки 1 і 2, які з'єднані між собою шарніром A , а ланка 1 з'єднана таким же шарніром C і з нерухомою ланкою 3. Якщо обидві ланки 1 і 2 будуть мати автономні приводи, то залежно від відносного руху ланок ведена ланка 2 може описувати не тільки еліптичні криві, а й деякі інші криві другого порядку. Але такий варіант не задовольняє умови дробоструминного очищення. Чим менше приводів і механічних передач, тим надійніше буде механічна рука. Необхідно мати один привід, який розміщувався б у штанзі маніпулятора. Тому визначимо ланку 1 як ведучу, а ланку 2 як ведену і будемо шукати одноприводну схему.

За схематичним зображенням варіанта 1 (рис. П.14) можна визначити довжину ланок 1 і 2 в складеному і робочому стані. У складеному стані, тобто в початковому положенні, коли ми будемо починати обробку глухого днища, довжина частини BC веденої ланки 2 повинна бути рівною меншій півосі b твірної еліпса, тобто $BC = b$. У робочому стані, коли механічна рука випрямиться й опише четверту

частину еліпса, довжина ланок 1 і 2 повинна бути рівною довжині більшої півосі еліпса a , тобто $BC + AC + OA = a$.

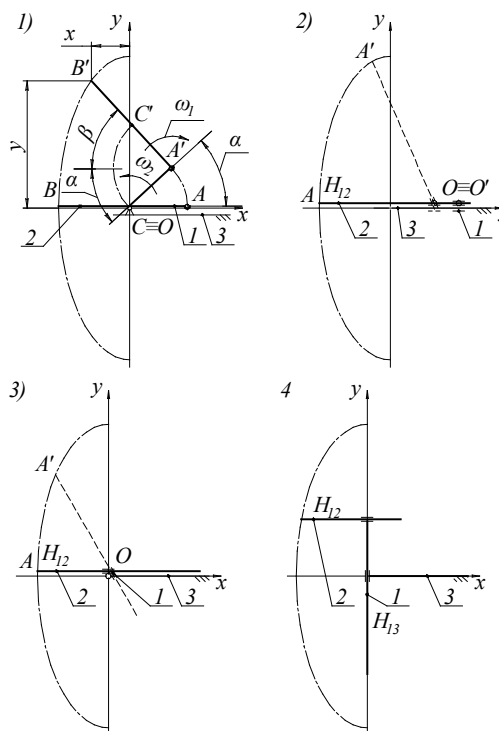


Рисунок П.14 – Структурні схеми можливих компонентів механізму еліпсографа

1, 2 – рухомі ланки; 3 – нерухома ланка

Беручи до уваги, що $CA = OA$, знаходимо $b + 2OA = a$ і $OA = 0,5(a - b)$. Таким чином, довжина ведучої ланки 1 рівна $L1 = 0,5(a - b)$.

Тепер знаходимо довжину веденої ланки 2 (разом із довжиною факела інструмента) $AB = BC + CA = b + 0,5(a - b) = 0,5(a + b)$, тобто, $L2 = 0,5(a + b)$.

При розкладанні ланки 1 і 2 повинні повертатися в протилежних напрямках. З огляду на це, визначимо співвідношення їхніх кутових швидкостей за умови опису точкою B ланки 2 еліптичної кривої.

Визначимо координати точки B , коли ведуча ланка 1 повернеться проти годинникової стрілки відносно нерухомої ланки 3 на кут α , а ведена ланка тим часом повернеться за годинниковою стрілкою відносно ведучої ланки на кут $\alpha + \beta$.

$$\begin{aligned}x &= L_1 \cos \alpha - L_2 \cos \beta, \\y &= L_1 \sin \alpha + L_2 \sin \beta.\end{aligned}\quad (\text{П.32})$$

Коли $\alpha = \beta$, то

$$\begin{aligned}x &= 0,5(a - b) \cos \alpha - 0,5(a + b) \cos \alpha = -b \cos \alpha, \\y &= 0,5(a - b) \sin \alpha + 0,5(a + b) \sin \alpha = a \sin \alpha.\end{aligned}\quad (\text{П.33})$$

Визначені координати x і y є параметричними рівняннями еліпса. Дійсно, з метою перевірки, після підстановки значень x і y в канонічне рівняння еліптичної кривої

$$x^2/b^2 + y^2/a^2 = 1 \quad (\text{П.34})$$

маємо

$$y = a/b \sqrt{b^2 - x^2}. \quad (\text{П.35})$$

Відповідно до формул (П.33–П.35), отримуємо відомі тригонометричні співвідношення

$$\sin \alpha = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha}, \quad \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1.$$

Враховуючи, що при повороті ведучої ланки 1 на кут α ведена ланка 2 повернеться на кут 2α , можна стверджувати, що для опису еліптичної кривої кутова швидкість веденої ланки ω_2 повинна перевищувати кутову швидкість ведучої ланки ω_1 у два рази тобто $\omega_2/\omega_1 = 2$, отже $\omega_2 = 2\omega_1$.

Обрана структура механізму еліпсографа і встановлені співвідношення кутових швидкостей його ланок дозволяють сподіватися на створення простої та надійної конструкції механічної руки.

Опис технічної пропозиції

За структурною схемою розробляємо кінематичну схему механічної руки, яка зображена на рисунку П.15.

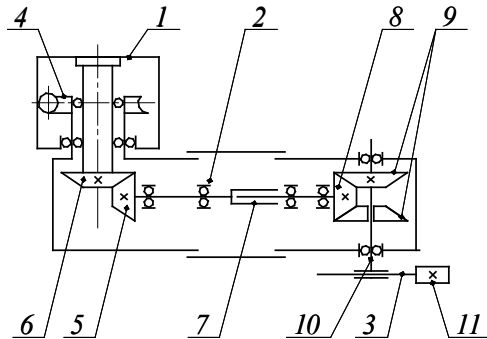


Рисунок П.15 – Кінематична схема (німа) механічної руки

1 – корпус, 2 – ведуча ланка, 3 – ведена ланка, 4 черв'ячна пара,
5, 6 – зубчасті колеса, 7 – телескопічний вал, 8, 9 – зубчасті колеса,
10 – вал, 11 – державка інструмента

Механічна рука складається з корпусу 1, який прикріплюється до штанги маніпулятора, ведучої ланки 2 і веденої ланки 3. Ці ланки телескопічні, що дає можливість налаштувати зміни їх довжини для обробки еліптичних днищ у певному діапазоні розмірів, та з'єднані між собою за допомогою обертової пари. Поворот ведучої ланки 2 навколо осі телескопічного валу виконує черв'ячна пара 4. При цьому зубчасте колесо 5 рухається по зубчастому колесу 6, нерухомо прикріпленому до корпусу 1. Телескопічний вал 7 і зубчасті колеса 8 і 9 повертають вал 10, на якому закріплено ведену ланку 3, що утримує державку інструмента 11.

На рисунку П.16 показано кінематичну схему головки (модуля механічних рук) автоматичного маніпулятора для дробоструминного очищення, яка має у своєму складі дві механічні руки.

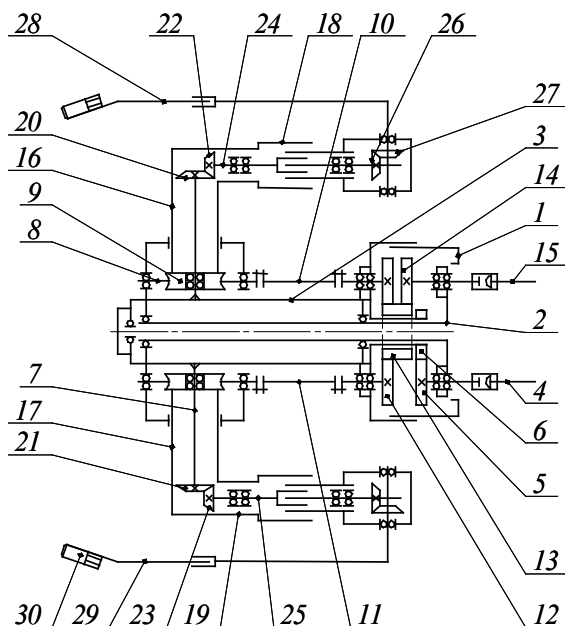


Рисунок П.16 – Кінематична схема головки

1 – корпус, 2 – труба, 3 – обойма, 4 – вал, 5, 6 – зубчасті пари, 7 – осі, 8-9 – черв'ячні пари, 10, 11 – вали, 12-13, 13-14 – зубчасті пари, 15 – вал, 16, 17 – корпус, 18, 19 – ведучі ланки, 20, 21, 22, 23 – конічні зубчасті колеса, 24, 25 – вали, 26-27 – зубчасті пари, 28, 29 – ведені ланки, 30 – тримач

Головка містить корпус 1, в якому коаксіально затиснута труба 2, яка несе обойму 3. Остання отримує обертальний рух від валу 4

через зубчасті пари 5 і 6. На обоймі 3 радіально закріплені осі 7, на яких змонтовані черв'ячні пари 8-9, які отримують обертальний рух через вали 10 і 11, а зубчасті пари 12-13 і 13-14 від валу 15. При цьому блок шестерні 13 вільно сидить на шийці обойми 3. Черв'ячні колеса 9 утримують корпус 16 і 17 ведучих ланок 18 і 19. На осях 7 закріплені конічні зубчасті колеса 20 і 21. При повороті корпусів 16 і 17 конічні зубчасті колеса 22 і 23 рухаються по колесах 20 і 21 та за допомогою валів 24 і 25 і зубчастих пар 26-27 передають обертальний рух веденим ланкам 28 і 29 механічних рук, які несуть державки 30 для інструмента. Ланки 18, 19, 28 і 29 виконані телескопічними для можливості налаштування зміни довжини ланок у заданому діапазоні.

Передавальні числа зубчастих пар 5-6, 12-13 і 13-14 однакові. Тому при повороті валів 4 і 5 в одному і тому ж напрямку і з однаковою частотою механічні руки повертаються навколо осі модуля, який встановлюється за допомогою штанги маніпулятора по осі виробу. Для розвороту механічних рук, тобто для того, щоб вони почали описувати еліптичну криву, необхідно змінювати частоту обертання валу 15. Ланки механічних рук повертаються в протилежних напрямках. При цьому передавальні числа зубчастих пар 20-22, 21-23 і 26-27 підібрані таким чином, що частота обертання ведених ланок 28 і 29 перевищує у два рази частоту обертання ведучих ланок 18 і 19.

Привід головки здійснюється від окремого модуля, розташованого в штанзі маніпулятора поза порожниною виробу.

Як видно з викладеного вище, механічна рука, яка розрахована на дробоструминну обробку корпусів хімічних апаратів:

- має мінімальну кількість рухомих ланок;
- рухомі ланки з'єднані між собою за допомогою обертальних пар, які можна досить надійно ущільнити;
- усі механічні передачі закриті і не піддаються абразивній дії струменя дробу;
- рухомі ланки виконані телескопічними.

Інженерний досвід та попередні розрахунки вказують на те, що напрацювання на відмову модуля механічних рук повинна становити не менше 2000 годин. Це достатньо для таких засобів технологічного оснащення як автоматичні маніпулятори.

На підставі інформаційного огляду робимо висновок про те, чи є запропоноване технічне рішення новим і раніше невідомим, що дає можливість створити автоматичний маніпулятор для дробоструминного очищення внутрішньої поверхні корпусів хімічних апаратів і отримати позитивний економічний ефект при експлуатації.

З огляду на ту обставину, що проблема механізації процесу дробоструминного очищення від окалини внутрішньої поверхні порожнистих виробів типу тіл обертання не вирішена не тільки вітчизняними, а й провідними фірмами промислово розвинених країн, є доцільним патентування технічного рішення на механічну руку автоматичного маніпулятора і в подальшому працювати над удосконаленням його конструкції.

Формулювання предмета винаходу

Запропоноване технічне рішення на механічну руку автоматичного маніпулятора дає можливість запатентувати його з такою формою винаходу.

Механічна рука автоматичного маніпулятора для дробоструминного очищення внутрішньої поверхні пустотілих виробів типу тіл обертання, наприклад, корпусів хімічних апаратів, котра побудована з двох телескопічних ланок, з'єднаних за допомогою шарніра, яка відрізняється тим, що для можливості описування механічної рукою еліпса із співвідношенням осей 2 до 1, ведуча ланка виконана рівною половині різниці півосей еліпса, а ведена ланка рівною половині суми півосей еліпса, при цьому ведена ланка з'єднана з ведучою ланкою механічною передачею так, що при обертанні ведучої ланки з кутовою швидкістю ω ведена ланка обертається з кутовою швидкістю 2ω в протилежному напрямку

Висновки

За результатами виконаної роботи можна зробити такі висновки:

1. Запропоновано надійне технічне рішення на механічну руку автоматичного маніпулятора для дробоструминного очищення внутрішньої поверхні пустотілих виробів типу тіл обертання з еліптичними днищами.

2. Технічна пропозиція дозволяє на заміну трудомісткої і шкідливої для здоров'я людини ручної праці створити автоматичний маніпулятор для виконання операції дробоструминного очищення внутрішньої поверхні корпусів хімічних апаратів.

3. Технічне рішення на механічну руку автоматичного маніпулятора є новим, невідомим раніше, що дає можливість отримати позитивний ефект, а тому конкурентоздатним.

Використана література

1. Артоболевский И.И. Механизмы в современной технике. Справочное пособие. В 7-и томах. - М.: Наука, 1979, 1980.
2. Визначення оптимальних технологічних режимів дробоструминного

- очищення металевих поверхонь / О.В. Горик, А.М. Чернявський, А.А. Ландар, Г.А. Шулянский // Полтава: Полтавська державна аграрна академія. – 2012. – 101с.
3. ГОСТ 11964. Дробь техническая из чугуна и стали.
4. Дж.Диксон. Проектирование систем: изобретательство, анализ и принятие решений. – М.Мир, 1969. – 441 с.
5. Патент на винахід №105279. Маніпулятор дробеструменевого очищення / О.В. Горик, А.М Чернявський., А.А. Ландар, Г.А. Шулянский // Заяв № а 2012 10574, 07.09.2012. – Публ. 25.04.2014, Бюл. №8.
6. Чернявський А.Н. Конструкція автоматических манипуляторів для струйної обробки корпусів хіміческих апаратів. – Технологія, економіка і організація производств хіміческого і нефтяного машиностроєння. НТРС. – М.: ЦИНТИ Хімнефтемаш, 1983, №2.

ДОДАТОК «А» — АЛФАВІТИ І ЦИФРИ

Таблиця А.1 — Алфавіти

Рукописні букви	Звучання	Рукописні букви	Звучання
<i>Латинський алфавіт</i>			
A a	a	N n	ен
B b	бе	O o	о
C c	це	P p	пе
D d	де	Q q	ку
E e	е	R r	ер
F f	еф	S s	ес
G g	ге	T t	те
H h	аш	U u	у
I i	і	V v	ве
J j	йот	W w	дубль-ве
K k	ка	X x	ікс
L l	ель	Y y	ігрек
M m	ем	Z z	зет
<i>Грецький алфавіт</i>			
A α	альфа	N ν	ню
B β	бета	Ξ ξ	ксі
Γ γ	гамма	Ο ο	о мікрон
Δ δ	дельта	Π π	пі
E ε	е псилон	Ρ ρ	ро
Z ζ	зета	Σ σ	сигма
Η η	ета	Τ τ	тау
Θ θ	тета	Υ υ	[и] псилон
I ι	йота	Φ φ	фі
Κ κ	каппа	Χ χ	хі
Λ λ	ламбда	Ψ ψ	псі
Μ μ	мю	Ω ω	омега

Римські цифри зображуються основними знаками: I, V, X, L, C, D і M, які відповідають наступним натуральним числам: I – 1, V – 5, X – 10, L – 50, C – 100, D – 500 і M – 1000. За допомогою основних знаків записуються всі натуральні числа. Для визначення натурального числа слід просумувати значення всіх римських цифр, записаних у числі. Але якщо перед більшою за значенням цифрою стоїть менша, то від цифри більшого значення слід відняти цифру меншого значення, наприклад: XVII=10+5+1+1=17; XCIII=(100-10)+1+1+1=93.

Приклади: I=1; II=2; III=3; IV=4; V=5; VI=6; VII=7; VIII=8; IX=9; X=10; XIV=14; XXVI=26; XL=40; LX=60; XCIX=99; CCCII=302; VD=495; IIM=998; MCMXCVIII=1998.

ДОДАТОК «Б» — СИСТЕМИ ВИМІРЮВАНЬ

У науці й техніці прийняте обов'язкове використання одиниць Міжнародної системи одиниць СІ. Для утворення десяткових кратних та часткових одиниць встановлено множники та приставки (табл.Б.1). Основні, додаткові та найважливіші похідні одиниці СІ наведені в табл. Б.2. Позасистемні одиниці, що використовують поряд з одиницями СІ, наведено в табл. Б.3.

Однак поряд із одиницями СІ часто на практиці використовують одиниці інших систем. Співвідношення між одиницями різних систем вимірювань наведено в таблицях Б.4...Б.18.

Таблиця Б.1 — Множники та приставки для утворення десяткових кратних та часткових одиниць і їх найменувань

Множник	Приставка	Позначення		Множник	Приставка	Позначення	
		українське	міжнародне			українське	міжнародне
10^{12}	тера	Т	T	10^{-1}	деци	д	d
10^9	гіга	Г	G	10^{-2}	санти	с	c
10^6	мега	М	M	10^{-3}	мілі	м	m
10^3	кіло	к	k	10^{-6}	мікро	мк	μ
10^2	гекто	г	h	10^{-9}	нано	н	n
10^1	дека	да	da	10^{-12}	піко	п	p
				10^{-15}	фемто	ф	f

Примітка. Кратні та часткові одиниці отримують шляхом множення чи ділення на степінь числа 10. Їх назва утворюється додаванням вказаних у таблиці приставок до основних чи похідних одиниць. Наприклад мегаджоуль, міліметр, наносекунда.

Таблиця Б.2 — Основні додаткові та найважливіші похідні одиниці СІ

Найменування величини	Одиниця		
	найменування	позначення	
		українське	міжнародне
Довжина	метр	м	m
Маса	кілограм	кг	kg
Час	секунда	с	s
Сила електричного струму	ампер	А	A
Термодинамічна температура	кельвін	К	K
Сила світла	кандела	кд	cd
Кількість речовини	моль	моль	mol
Додаткові одиниці			
Плоский кут	радіан	рад	rad
Тілесний кут	стерадіан	ср	sr

Продовження табл. Б.2

Найменування величини	Одиниця		
	найменування	позначення	
		українське	міжнародне
Деякі похідні одиниці			
<i>Одиниці простору і часу</i>			
Площа	квадратний метр	м^2	m^2
Об'єм, місткість	кубічний метр	м^3	m^3
Швидкість	метр за секунду	м/с	m/s
Прискорення	метр за секунду у квадраті	м/с^2	m/s^2
Кутова швидкість	радіан за секунду	рад/с	rad/s
Кутове прискорення	радіан за секунду у квадраті	рад/с^2	rad/s^2
Частота	герц	Гц	Hz
Частота обертання	секунда в мінус першому степені	с^{-1}	s^{-1}
Частота дискретних подій (частота імпульсів, ударів...)	секунда в мінус першому степені	с^{-1}	s^{-1}
Період	секунда	с	s
<i>Одиниці механічних величин</i>			
Сила	ньютон	Н	N
Густина	кілограм на кубічний метр	кг/м^3	kg/m^3
Момент сили	ньютон-метр	$\text{Н} \cdot \text{м}$	$\text{N} \cdot \text{m}$
Тиск (механічне напруження)	паскаль	Па	Pa
Робота (енергія)	джоуль	Дж	J
Потужність	ват	Вт	W
Вага	ньютон	Н	N
Питомий об'єм	кубічний метр на кілограм	$\text{м}^3/\text{кг}$	m^3/kg
Питома вага	ньютон на кубічний метр	Н/м^3	N/m^3
Момент інерції	кілограм-метр у квадраті	$\text{кг} \cdot \text{м}^2$	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$
Полярний момент інерції площі плоскої фігури	метр в четвертому степені	м^4	m^4
Градiєнт тиску	паскаль на метр	Па/м	Pa/m
Кількість руху	кілограм-метр за секунду	$\text{кг} \cdot \text{м/с}$	$\text{kg} \cdot \text{m/s}$
Момент кількості руху	кілограм-метр у квадраті за секунду	$\text{кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}$	$\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$
Згинаючий (обертовий) момент	ньютон-метр	$\text{Н} \cdot \text{м}$	$\text{N} \cdot \text{m}$
Модуль позовжньої пружності, модуль пружності при зсуві	паскаль	Па	Pa
<i>Одиниці теплових величин</i>			
Кількість теплоти	джоуль	Дж	J
Питома кількість теплоти	джоуль на кілограм	Дж/кг	J/kg
Питома теплоємність	джоуль на кілограм-кельвін	$\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$	$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
Теплопровідність	ват на метр-кельвін	$\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$	$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
Густина теплового потоку	ват на метр квадратний	Вт/м^2	W/m^2
Коефіцієнт теплообміну і теплопередачі	ват на метр квадратний-кельвін	$\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
<i>Одиниці світлових величин</i>			
Світловий потік	люмен	лм	lm
Освітленість	люкс	лк	lx
Яскравість	кандела на квадратний метр	кд/м^2	cd/m^2

Продовження табл. Б.2

Найменування величини	Одиниця		
	найменування	позначення	
		українське	міжнародне
Одиниці електричних і магнітних величин			
Електричний заряд	кулон	Кл	С
Електрична напруга	вольт	В	V
Електрична ємність	фарада	Ф	F
Електричний опір	ом	Ом	Ω
Питомий електричний опір	ом·метр	Ом·м	Ω·m
Магнітний потік	вебер	Вб	Wb
Магнітна індукція	тесла	Тл	T
Електрична провідність	сіменс	См	S
Індуктивність	генрі	Г	H
Примітка. Крім температури Кельвіна (позначення Т), використовують і температуру Цельсія (українське і міжнародне позначення t, °С).			

Таблиця Б.3 — Позасистемні одиниці, що використовують поряд із одиницями СІ

Найменування величини	Одиниця			Співвідношення з одиницею СІ
	найменування	позначення		
		українське	міжнародне	
Маса	тонна	т	t	10 ³ кг
Час	хвилина	хв	min	60 с
	година	год	h	3 600 с
	доба	доба	d	86 400 с
Плоский кут	градус	°	°	1,745329 · 10 ⁻² рад
	хвилина	'	'	2,908882 · 10 ⁻⁴ рад
	секунда	''	''	4,848137 · 10 ⁻⁶ рад
Об'єм, місткість	літр	л	l	10 ⁻³ м ³
Примітка. Використовують й інші одиниці часу (тиждень, місяць, рік). Наведені одиниці часу та плоского кута не використовують з приставками (див. табл. Б.1).				

Таблиця Б.4 — Залежності між температурами різних шкал

Найменування шкали температур	Позначення	Одиниці виміру	Залежність
Кельвін	T	K	$T = t + 273,15$
Цельсій	t	°C	$t = 5/9 (T_F - 32)$
Фаренгейт	t_F	°F	$t_F = 9/5 t + 32$
Ренкін	T_R	°R	$T_R = 9/5 (t + 273,15)$

Таблиця Б.5 — Перетворення дюймів і тисячних часток дюймів в міліметри

Дюйми	мм	Дюйми	мм	Дюйми	мм
0,001	0,025	0,010	0,254	0,10	2,54
0,002	0,051	0,020	0,509	0,20	5,08
0,003	0,076	0,030	0,762	0,30	7,62
0,004	0,102	0,040	1,016	0,40	10,16
0,005	0,127	0,050	1,270	0,50	12,70
0,006	0,152	0,060	1,524	0,60	15,24
0,007	0,178	0,070	1,778	0,70	17,78
0,008	0,203	0,080	2,032	0,80	20,32
0,009	0,229	0,090	2,286	0,90	22,86

Продовження табл. Б.5

Дюйми	мм	Дюйми	мм	Дюйми	мм
$\frac{1}{64}$	0,397	$\frac{1}{16}$	11,113	$\frac{1}{8}$	28,575
$\frac{1}{32}$	0,794	$\frac{1}{8}$	12,700	$\frac{1}{4}$	31,750
$\frac{1}{16}$	1,588	$\frac{3}{16}$	14,288	$\frac{3}{8}$	34,925
$\frac{3}{8}$	3,175	$\frac{1}{2}$	15,875	$\frac{1}{2}$	38,100
$\frac{3}{16}$	4,763	$\frac{3}{4}$	19,050	$\frac{5}{8}$	41,275
$\frac{1}{4}$	6,350	$\frac{7}{8}$	22,225	$\frac{3}{4}$	44,450
$\frac{5}{16}$	7,938	1	25,400	$\frac{7}{8}$	47,625
$\frac{3}{8}$	9,525	$1\frac{1}{16}$	26,988	2	50,800

Таблиця Б.6 — Перетворення міліметрів у дюйми

мм	Дюйми	мм	Дюйми	мм	Дюйми	мм	Дюйми
0,01	0,0004	0,1	0,0039	1	0,0394	10	0,394
0,02	0,0008	0,2	0,0079	2	0,0787	20	0,787
0,03	0,0012	0,3	0,0118	3	0,1181	30	1,181
0,04	0,0016	0,4	0,0158	4	0,1575	40	1,575
0,05	0,0020	0,5	0,0197	5	0,1969	50	1,969
0,06	0,0024	0,6	0,0236	6	0,2362	60	2,362
0,07	0,0028	0,7	0,0276	7	0,2756	70	2,756
0,08	0,0032	0,8	0,0315	8	0,3150	80	3,150
0,09	0,0035	0,9	0,0354	9	0,3543	90	3,543

Таблиця Б.7 — Найменування та позначення англо-американських одиниць вимірювання (довжина, площа, об'єм (місткість), маса, швидкість, подача)

Найменування		Позначення	
українське	англо-американське	українське	англо-американське
<i>Довжина</i>			
1 дюйм	1 inch	1', 1 дюйм	1', 1 in
1 фут	1 foot	1', 1 фут	1', 1 ft
1 ярд	1 yard	1 ярд	1 yd
1 миля	1 mile	1 миля	1 mile
<i>Площа</i>			
1 квадратний дюйм	1 square inch	1 кв. дюйм	1 sqin, 1 in ²
1 квадратний фут	1 square foot	1 кв. фут	1 sqft, 1 ft ²
1 квадратна миля	1 square mile	1 кв. миля	1 sq. mile
<i>Об'єм, місткість</i>			
1 кубічний дюйм	1 cubic inch	1 куб. дюйм	1 cuin, 1 in ³
1 кубічний фут	1 cubic foot	1 куб. фут	1 cuft, 1 ft ³
1 кубічний ярд	1 cubic yard	1 куб. ярд	1 cuyd, 1 yd ³
1 англійський галон	1 imp. gallon	1 англійський галон	1 gal
1 американський галон	1 US-gallon	1 американський галон	1 gal
1 нафтовий барель США	1 oil barrel US	1 барель	1 US-bul
1 пінта	1 pint	1 пінта	1 pint

Продовження табл. Б.7

Найменування		Позначення	
українське	англо-американське	українське	англо-американське
<i>Маса</i>			
1 гран	1 grain	1 гран	1 gr
1 унція	1 ounce	1 унція	1 oz
1 фунт	1 pound	1 фунт	1 lb
1 американська (коротка) тона	1 short ton	1 американська тона	1 shtn
1 англійська (довга) тона	1 long ton	1 англійська тона	1 ltn
<i>Швидкість</i>			
1 фут за секунду	1 foot/se-cond	1 фут/с	1 ft/s
1 миля за годину	1 mile/hour	1 миля/год	1 mph
<i>Подача</i>			
1 кубічний фут за хвилину	1 cubic foot/minute	1куб. фут /хв	1 cuft/min
1 американська тона за день	1 short ton/day	1 американська тона/день	1 shtn/d
1000 фунтів за день	1000 pounds/day	1000 фунтів/день	1000 lbs/d
1 стандартний кубічний фут за хвилину	1 stand. cubic foot/minute	1ст. куб. фут/хв	1 scf/min

Таблиця Б.8 – Співвідношення між англо-американськими одиницями вимірювання і одиницями СІ (довжина, площа, об'єм (місткість), маса, швидкість, подача)

Позначення		Співвідношення			
українське	англо-американське	система англо-американська	СІ	СІ	система англо-американська
<i>Довжина</i>					
1'', 1 дюйм	1'', 1 in	—	=25,40 мм	1 мм	=0,0394''
1', 1 фут	1', 1 ft	=12''	=30,48 см	1 см	=0,3937''
1 ярд	1 yd	=3'=36''	=0,9144 м	1 м	=1,094 ярди = 3,28'
1 миля	1 mile	=1760 ярди	=1,609 км	1 км	=0,62138 милі
<i>Площа</i>					
1 кв. дюйм	1 sq.in, 1 in ²	—	=6,416 см ²	1 см ²	=0,1550 кв. дюйми
1 кв. фут	1 sq.ft, 1 ft ²	=144 кв. дюйми	=0,0929 м ²	1 м ²	=10,764 кв. фути
1 кв. миля	1 sq. mile	—	=2,59 км ²	1 км ²	=0,3861 кв. милі
<i>Об'єм, місткість</i>					
1 куб. дюйм	1 cu.in, 1 in ³	—	=16,387 см ³	1 см ³	=0,0610 куб. дюйма
1 куб. фут	1 cu.ft, 1 ft ³	=1728 куб. дюйма	=28,317 дм ³	1 дм ³	=0,0353 куб. фути
1 куб. ярд	1 cu.yd, 1 yd ³	=27 куб. фути	=0,7646 м ³	1 м ³	=1,308 куб. ярди
1 англійський галон	1 gal	—	=4,546 дм ³	1 дм ³	=0,220 англійського галона
1 американський галон	1 gal	—	=3,785 дм ³	1 дм ³	=0,2642 американського галона
1 барель	1 US-bul	—	=158,987 дм ³	1 дм ³	=6,29 · 10 ⁻³ бареля
1 пінта	1 pint	=1/8 англійського галона	=0,568 дм ³	1 дм ³	=1,76 пінти

Продовження табл. Б.8

Позначення		Співвідношення			
українське	англо-американське	система англо-американська	СІ	СІ	система англо-американська
1 гран	1 gr	=1/7000 фунта	=0,0648 г	1 г	=15,43 грани
1 унція	1 oz	=1/16 фунта	=28,35 г	1 г	=0,0353 унції
1 фунт	1 lb	=16 унцій = 7000 гранів	=0,4536 кг	1 кг	=2,205 фунти
1 американська тона	1 sh tn	=2000 фунтів	=907,185 кг	1 т	=1,102311 американські тони
1 англійська тона	1 l tn	=2240 фунтів	=1016,047 кг	1 т	=0,984206 англійські тони
<i>Швидкість</i>					
1 фут/с	1 ft/s	—	=0,305 м/с	1 м/с	=3,28 фути/с
1 миля/год	1 mph	—	=1,609 км/год	1 км/год	=0,621 миля/год
<i>Подача</i>					
1 куб. фут /хв	1 cu ft/min	—	=1,699 м³/год	1 м³/год	=0,589 куб. фути/хв
1 американська тона/день	1 sh tn/d	—	=37,80 кг/год	1 кг/год	=0,02646 американські тони/день
1000 фунтів/день	1000 lbs/d	—	=18,9 кг/год	1 кг/год	=52,9 фунти/день
1 ст. куб. фут/хв	1 scf/min	—	=0,072 кмоль/год	1 кмоль/год	=13,9 ст.куб.фути/хв

Таблиця Б.9 – Українське та міжнародне позначення деяких одиниць різних систем вимірювань*

Величина	Найменування	Позначення	
		українське	міжнародне
Тиск	Бар	бар	bar
	Технічна атмосфера	ат	at
	Фізична атмосфера	атм	atm
	Міліметр ртутного стовбчика	мм рт.ст.	Torr
Потужність	Кінська сила	к.с.	PS
	Англійська кінська сила	англійська к.с.	HP
Енергія	Калорій	кал	cal
	Британська теплова одиниця (British thermal unit)	БТО	Btu
В'язкість	Стокс	Ст	St
	Пуаз	П	P

* - наведено позначення одиниць, які показані в таблицях Б.9-18, але не представлені в табл. Б.2, Б.3, Б.4, Б.7 і Б.8

Таблиця Б.10 – Співвідношення одиниць тиску

	Па	бар	ат	атм	фунт/кв.дюйм
1 Па=Н/м²=кг/(м·с²)=	1	10 ⁻⁵	1,01972·10 ⁻⁵	0,98692·10 ⁻⁵	1,450·10 ⁻⁴
1 бар=	10 ⁵	1	1,01972	0,98692	14,503
1 ат=1 кгс/см²=	9,80665·10 ⁴	0,980665	1	0,96784	14,223
1 атм=760 мм рт.ст.=	1,01325·10 ⁵	1,01325	1,033227	1	14,696
1 фунт/кв. дюйм=	0,68948·10 ⁴	0,68948·10 ⁻¹	0,70307·10 ⁻¹	0,6806·10 ⁻¹	1

Таблиця Б.11 – Співвідношення одиниць енергії

	Дж	кВт · год	к.с. · год	ккал	БТО
1 Дж=1 Вт · с=1 Н · м=	1	$2,7778 \cdot 10^{-7}$	$3,77673 \cdot 10^{-7}$	$2,3885 \cdot 10^{-4}$	$9,47817 \cdot 10^{-4}$
1 кВт · год=	$3,6 \cdot 10^6$	1	1,35962	859,845	$3,41214 \cdot 10^3$
1 к.с. · год =	$2,647796 \cdot 10^6$	0,735499	1	632,416	$2,50963 \cdot 10^3$
1 ккал=	$4,1868 \cdot 10^3$	$1,16300 \cdot 10^{-3}$	$1,58124 \cdot 10^{-3}$	1	3,96832
1 БТО=	$1,055056 \cdot 10^3$	$2,93071 \cdot 10^{-4}$	$3,98466 \cdot 10^{-4}$	0,251996	1

Таблиця Б.12 – Співвідношення одиниць потужності

	Вт	кВт	к.с.	англ. к.с.	ккал/год
1 Вт=1 Дж/с=1 Н · м/с=	1	10^{-3}	$1,35962 \cdot 10^{-3}$	$1,34102 \cdot 10^{-3}$	0,859845
1 кВт	10^3	1	1,35962	1,34102	859,845
1 к.с.=	735,499	0,735499	1	0,986	632,416
1 англ. к.с.= =550 фунт · фут/с=	745,7	0,7458	1,0138	1	641,197
1 ккал/год=	1,1630	$1,1630 \cdot 10^{-3}$	$1,58124 \cdot 10^{-3}$	$1,55958 \cdot 10^{-3}$	1

Таблиця Б.13 – Співвідношення одиниць питомої теплосмності

	Дж/(кг · К)	кВт · год/(кг · К)	ккал/(кг · К)	кал/(г · К)	БТО/(фунт · °F)
1 Дж/(кг · К) =	1	$2,7778 \cdot 10^{-7}$	$2,3885 \cdot 10^{-4}$	$2,3885 \cdot 10^{-4}$	$2,3885 \cdot 10^{-4}$
1 кВт · год/(кг · К) =	$3,6 \cdot 10^6$	1	859,845	859,845	859,845
1 ккал/(кг · К)=	$4,1868 \cdot 10^3$	$1,1630 \cdot 10^{-3}$	1	1	1,00
1 кал/(г · К)=	$4,1868 \cdot 10^3$	$1,1630 \cdot 10^{-3}$	1	1	1,00
1 БТО/(фунт · °F) =	$4,186 \cdot 10^3$	$1,1630 \cdot 10^{-3}$	1,00	1,00	1

Таблиця Б.14 – Співвідношення одиниць теплопровідності

	Вт/(м · К)	ккал/(м · год · К)	кал/(см · с · К)	БТО · дюйм/(кв.фут · год · °F)	БТО/(фут · год · °F)
1 Вт/(м · К) =	1	0,859845	$2,3885 \cdot 10^{-3}$	6,9335	0,5778
1 ккал/(м · год · К) =	1,163	1	$2,7778 \cdot 10^{-3}$	8,064	0,6719
1 кал/(см · с · К) =	418,68	360	1	2903	241,9
1 БТО · дюйм/(кв. фут · год · °F) =	0,14423	0,1240	$3,445 \cdot 10^{-4}$	1	0,08333
1 БТО/(фут · год · °F)=	1,73071	1,488	$4,134 \cdot 10^{-3}$	12	1

Таблиця Б.15 – Співвідношення одиниць густини теплового потоку

	Вт/м ²	ккал/(м ² · год)	кал/(см ² · с)	БТО/(кв.дюйм · с)	БТО/(кв.фут · год)
1 Вт/м ² =1 Дж/(с · м ²)=	1	0,859845	$2,38846 \cdot 10^{-3}$	$6,1151 \cdot 10^{-7}$	0,317
1 ккал/(м ² · год)=	1,163	1	$27,78 \cdot 10^{-6}$	$71,119 \cdot 10^{-8}$	0,36868
1 кал/(см ² · с)=	$4,1868 \cdot 10^4$	$3,6 \cdot 10^4$	1	$2,560 \cdot 10^{-2}$	$13,27 \cdot 10^3$
1 БТО/(кв.дюйм · с)=	$1,635 \cdot 10^6$	$1,405 \cdot 10^6$	39,05	1	$51,84 \cdot 10^4$
1 БТО/(кв.фут · год)=	3,15454	2,713	$75,34 \cdot 10^{-6}$	$1,929 \cdot 10^{-6}$	1

Таблиця Б.16 – Співвідношення одиниць коефіцієнта теплообміну й теплопередачі

	Вт/(м ² · К)	Вт/(см ² · К)	ккал/(м ² · год · К)	кал / (см ² · с · К)	БТО/(кв.фут · год · °F)
1 Вт/(м ² · К)=	1	10 ⁻⁴	0,859845	2,38846 · 10 ⁻³	0,1761
1 Вт/(см ² · К)=	10 ⁴	1	8598,45	0,238846	0,1761 · 10 ⁴
1 ккал/(м ² · год · К)=	1,163	1,163 · 10 ⁻⁴	1	2,7778 · 10 ⁻³	0,2048
1 кал/(см ² · с · К)=	4,1868 · 10 ⁴	4,1868	3,6 · 10 ⁴	1	0,7373 · 10 ⁴
1 БТО/(кв.фут · год · °F)=	5,678	5,678 · 10 ⁻⁴	4,8823	1,356 · 10 ⁻⁴	1

Таблиця Б.17 – Співвідношення одиниць кінематичної в'язкості

	м ² /с	м ² /год	мм ² /с	кв.фут/с	кв.фут/год
1 м ² /с=10 ⁴ Сг=	1	3600	10 ⁶	10,764	3,875 · 10 ⁴
1 м ² /год=	2,778 · 10 ⁻⁴	1	277,8	29,9 · 10 ⁻⁴	10,764
1 мм ² /с=	10 ⁻⁶	3,6 · 10 ⁻³	1	10,764 · 10 ⁻⁶	3,875 · 10 ⁻²
1 кв.фут/с=	9,2903 · 10 ⁻²	333,45	9,2903 · 10 ⁻⁴	1	3600
1 кв.фут/год=	0,25806 · 10 ⁻⁴	9,2903 · 10 ⁻²	25,806	2,778 · 10 ⁻⁴	1

Таблиця Б.18 – Співвідношення одиниць динамічної в'язкості

	Н · с/м ²	кг/(м · год)	кгс · с/м ²	фунт-маси/ (фут · с)	фунт-сили · с/кв.фут
1 Па · с= 1Н · с/м ² = =1кг/(м · с)=10П=	1	3600	0,10197	0,6721	2,0885 · 10 ⁻²
1 кг/(м · год)=	2,778 · 10 ⁻⁴	1	2,833 · 10 ⁻⁵	18,67 · 10 ⁻⁵	5,801 · 10 ⁻⁶
1 кгс · с/м ² =	9,807	3,5304 · 10 ⁴	1	6,5919	0,20482
1 фунт-маси/(фут · с)=	1,488	5357	0,15175	1	0,03108
1 фунт-сили · с/кв.фут=	47,88	172,4 · 10 ³	4,882	32,174	1

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	3
ВСТУП	7
1 ІСТОРИЧНІ ФРАГМЕНТИ ТВОРЕННЯ МАШИН	9
1.1 ЗАРОДЖЕННЯ ТЕПЛОВИХ ДВИГУНІВ	10
1.2 ЗАРОДЖЕННЯ ТЕОРЕТИЧНИХ ОСНОВ ТЕПЛОВИХ ЯВИЩ	22
1.3 ТЕНДЕНЦІЇ СУЧАСНОГО МАШИНОБУДУВАННЯ	25
<i>верстатобудування; сільськогосподарське машинобудування; хімічне машинобудування; електротехнічне машинобудування; зварювальне обладнання</i>	
2 ТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ	40
2.1 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА СТРУКТУРА	40
2.2 РОЗВИТОК ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ	46
2.3 ПРИНЦИПИ РОЗВИТКУ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ	51
<i>принцип вдосконалення конструкції; принцип прогресивної еволюції; принцип поступального руху; принцип відповідності; принцип стадійного розвитку; принцип кореляції параметрів; принцип симетрії; принцип створення похідних; принцип блочно-модульної побудови; принцип стимулювання розвитку; принцип створення та впровадження; принцип прагнення</i>	
2.4 МАТЕРІАЛІЗАЦІЯ НАУКОВИХ ІДЕЙ	59
<i>п'ять кроків пошуку нового; погляд в минуле; послідовність процесу матеріалізації; критерії працездатності; технічні розрахунки</i>	
3 ІНЖЕНЕРНА ТВОРЧІСТЬ	71
3.1 ТЕХНІЧНІ ПРОБЛЕМИ Й ЗАДАЧІ ТА ТЕХНІЧНІ ПРОТИРІЧЧЯ	73
3.2 МЕТОДИ ІНЖЕНЕРНОГО ТВОРЕННЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ	76
<i>системні методи; асоціативні методи; алгоритмічні методи; принципи усунення технічних протиріч</i>	
3.3 ІНЖЕНЕРНИЙ АНАЛІЗ	101
<i>постановка задачі; передумови побудови моделей; отримання та обробка результатів; оптимізація результатів; представлення та подача результатів</i>	
3.4 ОСНОВИ ІНЖЕНЕРНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ	109
<i>теоретичні аспекти оптимізації; приклад оптимізації об'єкту</i>	

3.5 ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ	113
<i>загальні відомості; альтернативи в інженерних рішеннях; визначальні фактори в прийнятті рішень; порядок прийняття рішень</i>	
3.6 МЕТОДИ АНАЛОГІЙ В МЕХАНИЦІ	117
<i>фізичні аналогії; електромеханічні аналогії; рівняння Лагранжа-Максвела</i>	
3.7 МОДЕЛЮВАННЯ В ІНЖЕНЕРНІЙ ТВОРЧОСТІ	128
<i>принципи створення моделей; фізичне моделювання</i>	
4 КОНЦЕПЦІЯ ТВОРЕННЯ НОВОЇ ТЕХНІКИ	135
4.1 ЗАСАДИ ТВОРЕННЯ	136
<i>умови для творення нової техніки; інформаційний та техніко-економічний аналіз; правила успішного освоєння нової техніки</i>	
4.2 ЕТАПИ ТВОРЕННЯ	140
<i>зародження технічного рішення; підготовчі роботи; розробка конструкцій; виготовлення дослідного зразка та його випробовування; організація серійного виробництва</i>	
4.3 ПОШУК НОВИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ	146
<i>підходи до прийняття рішення; шляхи пошуку рішення; оцінка технічного рішення; перевірка технічного рішення</i>	
4.4 ПРИКЛАДНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	155
<i>послідовність проведення досліджень; натурні випробування; підготовка експерименту; планування експерименту; обробка результатів експерименту</i>	
4.5 ОСНОВНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ МАШИН	168
<i>покращення основних характеристик машин; удосконалення конструкції механізмів та технології їх виготовлення; створення похідних машин</i>	
4.6 ТЕХНІЧНИЙ РІВЕНЬ МАШИН І АПАРАТІВ	176
<i>номенклатура показників якості; оцінка технічного рівня та якості продукції; техніко-економічні показники машин</i>	
5 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ВЛАСНІСТЬ	183
5.1 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ВЛАСНІСТЬ В ІННОВАЦІЙНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ	184
<i>роль інтелектуальної власності в інноваційній діяльності; управління інтелектуальною власністю; патентно-інформаційне забезпечення та патентна чистота; підтвердження конкурентоздатності машини</i>	
5.2 НАУКОВО-ТЕХНІЧНА ПРОДУКЦІЯ	188
<i>відкриття; винахід; корисна модель; раціоналізаторська пропозиція; промисловий зразок; товарний знак; ноу-хау; інжиніринг; комерційна реалізація об'єктів інтелектуальної власності</i>	

5.3 ПАТЕНТУВАННЯ	194
<i>рівні винаходів та їх патентоспроможність; процедура отримання патенту; опис винаходу; формула винаходу; патентний пошук; патентна класифікація; права власника патенту</i>	
5.4 ІНФОРМАЦІЙНИЙ ПОШУК	201
<i>процес і види інформаційного пошуку; завдання інформаційного пошуку; Інтернет-ресурси для патентного пошуку</i>	
6 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ДІЯЛЬНІСТЬ	209
6.1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНІ ОСНОВИ	209
<i>загальні відомості; види виробів; види конструкторських документів; стадії розробки проектно-конструкторської документації; монтажна, експлуатаційна та ремонтна документація</i>	
6.2 ЗАСАДИ КОНСТРУЮВАННЯ	227
<i>задачі і правила конструювання; скорочення номенклатури машин; принципи конструювання; конструювання складальних одиниць</i>	
6.3 СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ В МАШИНОБУДУВАННІ	241
<i>автоматизація конструкторської діяльності; основні функції та проектні процедури; програмне забезпечення</i>	
6.4 ОСНОВИ ЕРГОНОМІКИ	253
<i>ергономічні показники; умови праці; система «людина-машина»; людино-машинний інтерфейс; функціональне фарбування в машинобудуванні</i>	
6.5 СКЛАДАННЯ МАШИН	261
<i>вихідні дані та аналіз підготовки до складання машин; розроблення технології складання; технологічність конструкції машин при складанні; класифікація з'єднань у машинобудуванні</i>	
6.6 ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ КОНСТРУКЦІЇ ВИРОБУ	268
<i>основні показники технологічності; технологічний контроль конструкторської документації; технологічність конструкції деталі, що обробляється різанням; технологічність конструкції складальної одиниці; експлуатаційна та ремонтна технологічність конструкції виробу</i>	
7 ПРИВОДИ, МЕХАНІЗМИ ПЕРЕДАВАННЯ ТА ПЕРЕТВОРЕННЯ РУХУ	273
7.1 ПРИВОДИ МАШИН	273
<i>загальні відомості про привод; розробка приводу машин</i>	
7.2 ПОРІВНЯННЯ ПРИВОДІВ	280
<i>порівняння електроприводу та гідроприводу; порівняння пневмоприводу та гідроприводу</i>	
7.3 ПЕРЕДАЧІ ТА МУФТИ	289
<i>передачі зачепленням; фрикційні передачі; багатопотокові передачі; муфти</i>	

7.4 ЦИКЛОГРАМИ МАШИН	295
7.5 ПРОМИСЛОВІ РОБОТИ	299
<i>історія розвитку; рухові функції; системи автоматизованого керування</i>	
8 МАТЕРІАЛИ ТА ЇХ ОБРОБКА	306
8.1 КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ	308
<i>чорні метали та їх сплави; кольорові метали та їх сплави; неметалеві та композитні матеріали</i>	
8.2 МЕТОДИ ФОРМОУТВОРЕННЯ ДЕТАЛЕЙ	322
<i>лиття металевих виробів; обробка тиском; обробка різанням; фізико-хімічна обробка; адитивні технології</i>	
8.3 ЗМІЩЕННЯ ДЕТАЛЕЙ	335
<i>термічна обробка; хіміко-термічна обробка; поверхневе пластичне деформування; обробка концентрованими потоками енергії</i>	
9 ПОСТАНОВКА НА ВИРОБНИЦТВО ТА УПРАВЛІННЯ ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ МАШИН	350
9.1 ПІДГОТОВКА МАШИНОБУДІВНОЇ ПРОДУКЦІЇ ДО ВИРОБНИЦТВА	350
<i>виготовлення та випробування дослідного зразка; конструкторська та технологічна підготовка виробництва; встановлення гарантійного терміну експлуатації</i>	
9.2 ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ АНАЛІЗУ ВАРТОСТІ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ МАШИН	354
<i>прогнозування економічної ефективності нових машин; методологія модернізації обладнання</i>	
9.3 ПІДТРИМАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ	364
<i>фактори впливу та інциденти; стратегії технічного обслуговування й ремонту машин; організація життєвого циклу машини; облік роботи машин; ремонтний вплив на готовність машин; утилізація машин</i>	
9.4 СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МАШИН	382
<i>неперервний моніторинг технічного стану; структурно-діагностична схема машини; діагностичні параметри машин</i>	
9.5 ІНФОРМАЦІЙНА ПІДТРИМКА ВИРОБНИЦТВА	390
<i>автоматизована система управління технічним станом машин; система управління виробничими процесами (MES); інформаційні технології менеджменту обслуговування</i>	

ПРИКЛАДИ ТВОРЕННЯ МАШИН	402
ПРИКЛАД 1 – ПОШУК КОНКУРЕНТОЗДАТНОГО ВИРОБУ ІГРАШКОВОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ	402
<i>опис конструкції і принципу дії винаходу; формулювання предмета винаходу запатентованого виробу; аспекти винаходу; технічні можливості реалізації; інженерний аналіз; post scriptum</i>	
ПРИКЛАД 2 – РОЗРОБКА ПРОПОЗИЦІЇ ТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ АВТОМАТИЧНОГО МАНІПУЛЯТОРА ДЛЯ ДРОБОСТРУМИННОГО ОЧИЩЕННЯ ВНУТРІШНЬОЇ ПОВЕРХНІ ХІМІЧНОГО АПАРАТУ	413
<i>аналіз можливих способів очищення й уточнення задачі; технологічні основи дробоструминного очищення; вивчення попиту та пропозиції; вибір технологічної схеми; деякі питання автоматизації процесу; визначення структури автоматичного маніпулятора; огляд конструкцій механізмів еліпсографу; вибір структурної схеми механічної руки автоматичного маніпулятора; опис технічної пропозиції; формулювання предмета винаходу</i>	
ДОДАТОК «А» — АЛФАВІТИ І ЦИФРИ	435
ДОДАТОК «Б» — СИСТЕМИ ВИМІРЮВАНЬ	436