

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти

бакалавр

на тему: «Розрахунок та проектування конструктивних елементів машини
для переміщення вантажів на висоту»

КРБ.133ГМбд_31[3].06.00.00.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти
за освітньо-професійною програмою
«Машини та обладнання
сільськогосподарського виробництва»
спеціальності 133 *«Галузеве*
машинобудування»
ступеня вищої освіти *бакалавр*
групи *133ГМбд_31[3]*
ДРИГА Антон

Керівник: д-р техн. наук, професор
ВЛАСОВЕЦЬ Віталій

Полтава – 2026 року

ВСТУП

Переміщення вантажів на висоту є важливою частиною виробничих, будівельних, складських і ремонтних процесів. Для виконання таких операцій застосовують різні вантажопідіймальні машини та механізми, які дають змогу піднімати, опускати й переміщувати вантажі в межах робочої зони. Від правильного вибору конструкції таких машин значною мірою залежать продуктивність роботи, безпечність експлуатації, надійність обладнання та економічність виробничого процесу [1].

На сучасному етапі розвитку техніки до машин для переміщення вантажів на висоту висуваються підвищені вимоги. Вони повинні мати достатню вантажопідйомність, працювати надійно в різних умовах, мати відносно невеликі габарити та масу, а також забезпечувати безпечне виконання підйомно-транспортних операцій. Разом із цим у процесі проєктування виникає низка технічних суперечностей. Необхідно підвищувати міцність і довговічність конструкції, зменшувати матеріалоемність і металоємність машини.

Серед різних типів машин для переміщення вантажів на висоту значне поширення отримали механізми канатного типу. Вони застосовуються у вантажопідіймальних кранах, лебідках, талях, підйомниках та інших машинах. Такі механізми відзначаються відносною простотою конструкції, зручністю компоновання основних вузлів та можливістю забезпечення необхідних параметрів підйому [1, 2].

Актуальність теми полягає в необхідності виконання інженерно обґрунтованого розрахунку та проєктування конструктивних елементів машини для переміщення вантажів на висоту, що дозволить забезпечити її надійність, працездатність, безпеку та економічну доцільність у процесі експлуатації.

Об'єктом розробки є машина для переміщення вантажів на висоту канатного типу.

Предметом розробки є конструктивні елементи механізму підйому вантажу, а саме канатно-блокова система, барабан, вал барабана та елементи приводу.

Метою роботи є розрахунок та проєктування конструктивних елементів машини для переміщення вантажів на висоту з обґрунтуванням вибору її основної конструктивної схеми та визначенням параметрів основних вузлів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: проаналізувати існуючі конструкції машин для переміщення вантажів на висоту; обґрунтувати вибір доцільного технічного рішення; визначити основні вихідні параметри машини; виконати кінематичний і силовий розрахунок механізму підйому; розрахувати основні конструктивні елементи машини; розробити технологічні підходи до виготовлення обраної деталі; оцінити економічну доцільність, умови охорони праці та вплив на навколишнє середовище.

Технічне завдання полягає в розробці канатного механізму підйому вантажу, який забезпечує надійне переміщення вантажу на задану висоту з дотриманням вимог міцності, жорсткості, технологічності та безпеки.

У першому розділі роботи розглядається загальна характеристика машин для переміщення вантажів на висоту, виконується аналіз існуючих конструкцій і обґрунтовується вибір принципового технічного рішення.

У другому розділі висвітлюються питання, пов'язані з технологією виготовлення обраної деталі. У третьому розділі виконуються основні конструкторські розрахунки та наводиться опис розробленої конструкції. У четвертому розділі розглядаються питання економічної доцільності, охорони праці та навколишнього середовища.

У роботі запропоновано підхід до розрахунку та проєктування основних конструктивних елементів машини для переміщення вантажів на висоту на основі використання канатного механізму підйому. Основними результатами роботи є обґрунтування вибору конструктивної схеми, визначення параметрів основних вузлів і деталей, а також формування рекомендацій щодо їх виготовлення та експлуатації.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА РОЗРОБКИ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ

1.1 Призначення, сфера застосування та умови використання машин для переміщення вантажів на висоту

Машини для переміщення вантажів на висоту призначені для виконання підйомно-транспортних операцій, пов'язаних із підніманням, опусканням, утриманням і переміщенням вантажів у межах певної робочої зони. Такі машини застосовуються у промисловості, будівництві, складському господарстві, транспортній сфері, ремонтних майстернях, а також у сільськогосподарському виробництві. Їх використання дає змогу механізувати важкі ручні операції, підвищити продуктивність праці, зменшити тривалість виконання вантажно-розвантажувальних робіт та забезпечити належний рівень безпеки під час роботи з масивними або великогабаритними вантажами [1].

До машин для переміщення вантажів на висоту висуваються підвищені вимоги щодо надійності, довговічності, міцності, зручності експлуатації та технічного обслуговування [2, 3]. Під час роботи вони сприймають значні статичні та динамічні навантаження, що виникають під час пуску, зупинки, гальмування, розгойдування вантажу або нерівномірності його піднімання. Тому вже на етапі проєктування необхідно передбачити достатній запас міцності основних деталей, правильний вибір типу приводу, раціональне передавання навантаження між вузлами і наявність засобів безпечного утримання вантажу [1, 4].

Сфера застосування машин для переміщення вантажів на висоту є дуже широкою. У виробничих цехах вони застосовуються для подачі деталей та заготовок до робочих місць, встановлення вузлів на технологічне обладнання, транспортування готової продукції або змінних частин машин. На будівельних об'єктах вони використовуються для піднімання будівельних матеріалів, бетонних блоків, металоконструкцій, арматури, елементів інженерних систем та монтажного обладнання [5]. У складському господарстві ці машини

забезпечують укладання вантажів на стелажі, формування штабелів, завантаження транспортних засобів та внутрішнє переміщення товарів [1, 4, 6].

У ремонтних майстернях і сервісних підрозділах підйомні машини використовуються для демонтажу та монтажу двигунів, редукторів, насосів, електродвигунів, елементів трансмісії і рамних конструкцій. В аграрній сфері вони застосовуються під час ремонту тракторів, комбайнів, насосних установок, технологічного обладнання тваринницьких ферм, елеваторів, сушарок та інших технічних засобів. У таких умовах особливо важливими є простота конструкції, надійність, можливість експлуатації в запиленому середовищі, зручність обслуговування і порівняно невисока вартість виготовлення та ремонту.

Умови використання машин для переміщення вантажів на висоту істотно впливають на вибір їх конструктивної схеми. Якщо машина використовується в закритому приміщенні, тоді основну увагу приділяють габаритам, компактності, плавності роботи та зручності керування. У випадку роботи на відкритих майданчиках необхідно враховувати вплив вологи, опадів, пилу, температурних коливань, вітрових навантажень і корозійної дії зовнішнього середовища. Для обладнання, що використовується періодично, конструкція може бути простішою, а для машин інтенсивної експлуатації потрібно більш ретельно підходити до вибору матеріалів, типів підшипників, системи змащування, засобів захисту і режиму роботи приводу [1, 4, 5].

Важливою характеристикою є також режим роботи машини. При виконанні одноразових або допоміжних операцій підйомний механізм працює відносно рідко, тому вимоги до його теплостійкості та ресурсу можуть бути помірними. У разі багаторазових циклів піднімання й опускання за одну зміну навантаження на елементи приводу, барабан, вал, підшипникові опори та гальмівний пристрій значно зростає. Це вимагає виконання більш точного інженерного розрахунку, правильного вибору класу механізму та достатнього запасу надійності [1, 5].

Під час роботи з вантажами різного характеру необхідно враховувати їх масу, габарити, форму, жорсткість, можливість зміщення центра мас і вимоги до точності позиціонування. Якщо вантаж є нестійким або великогабаритним,

підвищується значення плавності пуску та гальмування. Для крихких або відповідальних виробів потрібне особливо точне переміщення без ривків і перекосів. Усе це впливає на вибір типу механізму підйому та параметрів його конструктивних елементів.

Таким чином, машини для переміщення вантажів на висоту є важливими технічними засобами (рис.1.1), без яких неможливо забезпечити ефективне виконання значної частини виробничих та монтажних операцій. Їх проектування повинно ґрунтуватися на врахуванні реальних умов експлуатації, характеру навантаження, вимог до безпеки, надійності та технологічності. В межах даної роботи розглянуто не всю множину можливих конструкцій, а одну раціональну схему, яка дозволяє повною мірою виконати конструкторський і технологічний аналіз.



Рисунок 1.1 – Класифікація машин для переміщення вантажів на висоту

1.2 Класифікація, аналіз існуючих конструкцій та технічних аналогів

Машини для переміщення вантажів на висоту можна класифікувати за кількома ознаками: за призначенням, видом приводу, конструктивною схемою, типом робочого органа, умовами експлуатації та характером переміщення вантажу. Така класифікація є важливою для правильного вибору об'єкта розробки, оскільки дозволяє визначити найбільш доцільний варіант конструкції залежно від поставленої технічної задачі [1, 5].

За призначенням ці машини поділяють на машини загального і спеціального призначення. Машини загального призначення використовують для стандартних підйомно-транспортних операцій із широким спектром

вантажів. До них належать талі, лебідки, підйомники, крани загального призначення. Спеціальні машини розраховані на роботу з певним видом вантажу або в конкретних технологічних умовах. Це можуть бути контейнери, довгомірні конструкції, сипучі матеріали, обладнання для монтажу вузлів чи систем у спеціалізованих цехах або майданчиках.

За видом приводу розрізняють ручні, електричні, гідравлічні та пневматичні машини. Ручний привід застосовують у механізмах малої вантажопідйомності або в пристроях епізодичного використання. Його перевагою є простота, однак продуктивність і зусилля обмежені фізичними можливостями оператора. Електричний привід є найбільш поширеним, оскільки він забезпечує достатню потужність, зручність керування, можливість застосування стандартних двигунів, муфт, редукторів та гальм. Гідравлічний привід дає змогу розвивати значні зусилля і відзначається плавністю ходу, однак потребує більш складної системи керування і підтримання герметичності. Пневматичний привід використовується значно рідше і переважно в спеціальних умовах [1, 4, 5].

За конструктивною схемою машини для вертикального переміщення вантажів поділяються на домкрати, талі, лебідки, підйомники, крани, маніпулятори та комбіновані пристрої. Домкрати застосовуються переважно для піднімання вантажу на невелику висоту. Вони бувають гвинтовими, рейковими, гідравлічними. Їх конструкція є простою, однак вони не забезпечують значної висоти підйому та високої продуктивності.

Основні типи машин для переміщення вантажів на висоту представлено на рис.1.2.

Талі є компактними підйомними механізмами, які можуть мати ручний або електричний привід. Вони широко застосовуються у виробничих та ремонтних умовах, особливо в разі піднімання вантажів у межах одного робочого місця. Лебідки є більш універсальними і можуть застосовуватися як для вертикального піднімання, так і для горизонтального або похилого переміщення вантажу. Основним робочим елементом у лебідках є канат або ланцюг, який намотується на барабан чи взаємодіє з канатоведучим шківом [1, 5].



Рисунок 1.2 – Основні типи машин для переміщення вантажів на висоту

Підійомники характеризуються наявністю вантажної платформи або кабіни, що рухається по напрямних. Вони широко використовуються там, де необхідно транспортувати не лише окремий вантаж, а й вантаж разом із опорною поверхнею. До їх переваг належать зручність подачі матеріалів на рівень поверху або технологічного майданчика. Недоліком є ускладнення конструкції несучої рами та напрямних.

Крани є одним із найбільш поширених засобів механізації підійомно-транспортних робіт. Вони забезпечують не лише вертикальне переміщення вантажу, а й його переміщення в горизонтальній площині. До цієї групи належать мостові, козлові, баштові, консольні, підвісні, порталні та інші крани. Проте повна розробка всієї машини типу «кран» у межах бакалаврської роботи потребує дуже значного обсягу розрахунків і креслень. Тому більш доцільно як об'єкт детального опрацювання виділити один із його функціонально найважливіших вузлів – механізм підйому [1, 4, 5].

За типом робочого органа підійомні механізми можуть бути канатними, ланцюговими, гвинтовими, рейковими, плунжерними або комбінованими. Серед них найбільше поширення в машинах середньої та значної вантажопідйомності мають канатні механізми. Це пов'язано з тим, що канат забезпечує достатню гнучкість, може працювати в складі поліспавної системи, дозволяє зменшити

зусилля в окремих елементах і забезпечує зручне компонування приводу та вантажозахоплювального органа [1, 2].

Аналіз технічних аналогів показує, що у практиці проектування підйомних механізмів найбільш поширеними є дві схеми: механізми з нарізним барабаном і механізми з канатоведучим шківом. Механізми з барабаном характеризуються більшою простотою розуміння процесу намотування каната, зручністю конструювання, чітким передаванням руху від приводу до каната і можливістю застосування жолобчастої поверхні для правильного укладання витків. Механізми з канатоведучим шківом можуть бути компактнішими, однак вони сильніше залежать від умов тертя між канатом і шківом, що ускладнює забезпечення стабільної роботи [1, 2].

Для даної роботи більш доцільним є саме барабанний механізм. Його конструкція дозволяє виконати повний комплекс розрахунків: визначити діаметр каната, діаметр і довжину барабана, розрахувати вал барабана на кручення і вигин, підібрати підшипники, редуктор, муфту та гальмівний пристрій. Крім того, одна з основних деталей такого механізму – вал барабана, який опрацьовано в технологічному розділі.

1.3 Постановка технічної задачі, технічні суперечності та можливі варіанти її вирішення

Основна технічна задача цієї бакалаврської роботи полягає в розрахунку та проектуванні конструктивних елементів машини для переміщення вантажів на висоту, яка повинна забезпечувати надійне, безпечне та економічно доцільне виконання підйомно-транспортних операцій. У межах цієї задачі необхідно не лише обрати тип механізму, а й обґрунтувати його конструктивну схему, визначити основні параметри і забезпечити узгоджену роботу всіх елементів системи [1, 4, 5].

Технічна задача включає в себе кілька взаємопов'язаних питань. Насамперед потрібно визначити, який саме механізм доцільно прийняти за основу: барабанний канатний, гідравлічний, гвинтовий чи інший. Далі необхідно вибрати вид приводу, оцінити рівень навантажень, визначити схему передавання

зусиль і обґрунтувати конструктивні параметри основних деталей. Також потрібно врахувати технологічність виготовлення, можливість технічного обслуговування та відповідність вимогам безпеки [1, 4].

Під час постановки технічної задачі виникає низка суперечностей. Перша з них пов'язана з необхідністю забезпечення достатньої міцності та жорсткості конструкції при одночасному обмеженні її маси та матеріалоємності. Збільшення перерізів деталей покращує запас міцності, але призводить до зростання маси машини, навантаження на привід і вартості виготовлення. Надмірне ж зменшення габаритів деталей може призвести до перевантаження, прогинів, прискореного зношування та зниження ресурсу [1, 7].

Друга технічна суперечність полягає в поєднанні конструктивної простоти та функціональності. Чим простіший механізм, тим легше його виготовляти, ремонтувати та обслуговувати. Однак для підвищення безпеки та покращення експлуатаційних характеристик конструкцію часто доводиться ускладнювати введенням гальмівних пристроїв, обмежувачів, підшипникових вузлів, поліспаств, захисних елементів і систем контролю [4, 5].

Третя суперечність пов'язана з вибором приводу. Ручний привід є простим і дешевим, однак не забезпечує достатньої продуктивності. Гідравлічний привід має високий силовий потенціал і плавність роботи, але потребує складнішого обслуговування. Електричний привід добре підходить для машин цього типу, проте вимагає правильного узгодження потужності двигуна, передаточного числа редуктора, моменту гальмування та швидкості обертання барабана [1, 5].

Як можливі варіанти вирішення поставленої задачі можна розглядати:

- гідравлічний підйомний механізм;
- гвинтовий або рейковий механізм;
- канатний механізм підйому з барабаном і електричним приводом.

Гідравлічний варіант є доцільним у випадках, коли потрібні великі зусилля та плавність роботи. Однак він зміщує акцент роботи в бік гідроприводу, оскільки вимагає розрахунку гідроциліндрів, апаратури керування, трубопроводів, насосного обладнання і захисних пристроїв. Гвинтові та рейкові

механізми добре підходять для невеликих висот підйому, але не завжди є зручними при потребі реалізації більшої висоти або універсальності конструкції.

Канатний механізм підйому з барабаном і електричним приводом поєднує в собі достатню конструктивну простоту, надійність, придатність до використання стандартних вузлів і можливість повноцінного інженерного розрахунку. Він дозволяє застосовувати поліспасти, що зменшує зусилля в канаті, раціонально використовувати потужність приводу і забезпечити потрібну висоту підйому [1, 2, 5].

1.4 Обґрунтування вибору доцільного варіанта та розробка принципового технічного рішення

На основі проведеного аналізу для подальшого проєктування прийнято канатний механізм підйому вантажу з барабаном та електричним приводом. Такий вибір є обґрунтованим, оскільки ця схема має порівняно просту конструкцію, достатню надійність, придатність до використання стандартних елементів і можливість детального опрацювання основних вузлів у межах бакалаврської роботи [1, 5].

Принцип роботи обраного механізму полягає в тому, що обертальний рух від електродвигуна через муфту передається на редуктор, а від нього — на вал барабана. При обертанні барабана на нього намотується або з нього розмотується сталевий канат. Через систему блоків або поліспасти канат передає зусилля на вантажозахоплювальний орган, забезпечуючи піднімання чи опускання вантажу на задану висоту. Для зупинки і надійного утримання вантажу використовується гальмівний пристрій [1, 4, 5].

Однією з головних переваг канатного барабанного механізму є його конструктивна зрозумілість. Основні елементи такого механізму легко виділити в самостійні об'єкти розрахунку: канат, барабан, вал, підшипникові опори, редуктор, муфту, електродвигун, гальмо. Це дозволяє побудувати логічну послідовність конструкторських розрахунків і забезпечує повноцінний зміст як технологічного, так і конструкторського розділів бакалаврської роботи [1, 7].

Сталевий канат є одним із найважливіших елементів механізму підйому, оскільки саме він безпосередньо сприймає вантажне зусилля. До вибору каната висуваються високі вимоги щодо міцності, гнучкості, стійкості до зносу та якості виготовлення. Саме тому для його вибору доцільно орієнтуватися на положення ISO 2408:2017, який встановлює вимоги до виготовлення, випробування, приймання, маркування і сертифікації сталевих канатів [2].

Барабан механізму повинен забезпечувати надійне намотування каната, сприймати зусилля від натягнутих витків та передавати крутний момент через вал. Важливими параметрами барабана є його діаметр, довжина, товщина стінки, конструкція жолобків для укладання каната та спосіб кріплення до вала. Занадто малий діаметр барабана погіршує умови роботи каната, а надмірно великий призводить до зростання габаритів і металоємності механізму [1, 2].

Вал барабана є відповідальною деталлю, яка працює в умовах сумісної дії згинального та крутного моментів. Саме тому його необхідно розраховувати на міцність і жорсткість, враховуючи навантаження від барабана, каната, реакції опор і крутний момент, що передається від редуктора. Для подальшого технологічного розділу ця деталь є дуже зручною, оскільки має чітко виражені поверхні обробки, посадочні місця та вимоги до точності [7].

Підшипникові опори в механізмі необхідні для забезпечення надійного встановлення вала та зменшення втрат на тертя. Їх вибір визначається величиною радіальних і, за потреби, осьових навантажень, частотою обертання, умовами змащування та довговічністю. Муфта забезпечує передавання моменту між валами і може компенсувати незначні перекося. Редуктор зменшує частоту обертання електродвигуна до значення, необхідного для забезпечення потрібної швидкості підйому. Гальмо повинно надійно утримувати вантаж у нерухомому положенні та забезпечувати безпечну зупинку механізму [1, 5, 7].

З точки зору безпеки обраний механізм має також низку переваг. Він дозволяє контролювати швидкість піднімання, має чіткий шлях передавання навантаження, передбачає можливість встановлення гальмівного пристрою, кінцевих вимикачів та інших елементів захисту. Нормативні положення щодо безпечної експлуатації кранів і підйомних механізмів містяться в OSHA 1910.179

та стандартах ASME B30.2 і ASME B30.17, які охоплюють питання конструкції, монтажу, огляду, технічного обслуговування та роботи підйимального обладнання [4–6].

Прийнята конструктивна схема є достатньо простою, зрозумілою, технічно обґрунтованою та придатною для подальшого детального опрацювання. Вона дозволяє виконати повний комплекс необхідних розрахунків і створює реальну основу для розробки конструктивних елементів машини для переміщення вантажів на висоту.

Висновки до розділу 1

У першому розділі було розглянуто призначення, сферу застосування та умови використання машин для переміщення вантажів на висоту. Встановлено, що такі машини є важливими технічними засобами для виконання підйомно-транспортних, монтажних, складських і ремонтних операцій у різних галузях виробництва та господарства. Показано, що під час їх проєктування необхідно враховувати характер навантаження, умови експлуатації, вимоги до безпеки, надійності, технологічності та економічності.

Проведено класифікацію машин для переміщення вантажів на висоту та аналіз основних типів конструкцій. У результаті цього аналізу встановлено, що найбільш придатним для детального інженерного опрацювання є канатний механізм підйому з барабаном та електричним приводом. Така схема дозволяє реалізувати повний комплекс розрахунків основних вузлів і водночас відповідає вимогам до простоти, надійності та функціональності.

У розділі сформульовано основну технічну задачу роботи та визначено головні технічні суперечності, що виникають під час проєктування, зокрема необхідність поєднання достатньої міцності конструкції з обмеженням її маси, забезпечення конструктивної простоти при збереженні безпеки та надійності, а також вибір найбільш раціонального виду приводу.

На основі порівняння можливих варіантів технічного рішення прийнято для подальшої розробки канатний механізм підйому вантажу з барабаном, електричним приводом, редуктором, муфтою, підшипниковими опорами та гальмівним пристроєм.

РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ

2.1 Характеристика деталі, вибір матеріалу та заготовки

У роботі як об'єкт технологічного опрацювання прийнято вал барабана механізму підйому вантажу. Обрання саме цієї деталі є обґрунтованим, оскільки вал барабана належить до найбільш відповідальних елементів підйомного механізму. Він передає крутний момент від редуктора до барабана, сприймає навантаження від натягу каната, маси барабана, реакцій підшипникових опор, а також додаткові динамічні навантаження, що виникають під час пуску, зупинки та зміни режимів роботи механізму [8]. У навчальній і технічній літературі з вантажопідіймальних машин та деталей машин вали розглядаються як деталі, що працюють переважно на сумісну дію кручення і вигину, а тому потребують одночасного врахування міцності, жорсткості, втомної витривалості та технологічності виготовлення.

Конструктивно вал барабана виконується ступінчастим. На ньому передбачаються шийки під підшипники, посадочні поверхні під барабан, місця для встановлення муфти або напівмуфти, шпонкові пази, торцеві поверхні для осевого базування та фіксації, а іноді й різьбові ділянки. Ступінчаста форма забезпечує можливість раціонального розміщення навантажених зон, спрощує складання та дає змогу виконати технологічний процес з використанням типових токарних, фрезерних і шліфувальних операцій [9]. Для деталей такого типу найважливішими є точність посадкових поверхонь, співвісність основних шийок і якість поверхні в місцях контакту з підшипниками та барабаном.

З погляду експлуатації до вала барабана висуваються такі основні вимоги: достатня міцність при дії статичних і змінних навантажень; жорсткість, що забезпечує обмеження прогинів; точність і стабільність посадкових розмірів; зносостійкість поверхонь, які працюють у контакті; технологічність виготовлення та можливість ремонту або відновлення [7, 9]. У працях українських дослідників і в навчальних курсах із технологічних основ машинобудування окремо підкреслюється, що саме для ступінчастих валів необхідно забезпечувати раціональне поєднання конструктивної форми й

технологічного маршруту, оскільки це прямо впливає на трудомісткість виготовлення та довговічність деталі.

Як основний матеріал деталі в роботі доцільно прийняти сталь 45. Такий вибір є типовим для валів загального машинобудівного призначення, оскільки ця сталь має достатню міцність, добру оброблюваність різанням і допускає термічне зміцнення [7, 11]. Для більш навантажених валів можливо застосовувати сталь 40Х, однак у межах бакалаврської роботи сталь 45 є більш раціональним варіантом, тому що дозволяє забезпечити потрібні характеристики без ускладнення технологічного процесу та без істотного зростання собівартості [7]. Підходи до вибору матеріалів для валів та інших елементів машин наведені в класичних курсах з деталей машин і машинобудівного проектування.

В табл. 2.1 наведена загальна характеристика деталі “вал барабана”

Таблиця 2.1 – Загальна характеристика деталі “вал барабана”

Найменування показника	Характеристика
Найменування деталі	Вал барабана
Функціональне призначення	Передавання крутного моменту, сприйняття вигину
Тип деталі	Ступінчастий вал
Основний матеріал	Сталь 45
Можливий матеріал-замінник	Сталь 40Х
Тип заготовки	Гарячекатаний круглий прокат
Основні навантаження	Кручення, вигин, динамічні навантаження
Найбільш відповідальні поверхні	Шийки під підшипники, посадка під барабан, шпонкові пази

У якості заготовки для виготовлення вала барабана найбільш доцільно використати гарячекатаний круглий прокат. Це рішення є виправданим для одиничного та дрібносерійного виробництва, характерного для ремонтних підприємств, навчальних проєктів та виготовлення деталей середніх розмірів.

Перевагами такого варіанта є доступність матеріалу, простота підготовки заготовки, відсутність потреби у складному штампувальному оснащенні та зручність подальшої токарної обробки [9, 10]. Поковки або штамповані заготовки доцільніші при більших серіях або при значних навантаженнях, коли необхідно покращити структуру матеріалу та підвищити коефіцієнт використання металу [9, 12].

На рис. 2.1 представлено вал барабана.



Рисунок 2.1 – Вал барабана як об’єкт технологічного проектування

2.2 Припуски на механічну обробку, базування, точність і якість поверхонь

При виготовленні деталей типу «вал» одним із головних питань технологічного проектування є призначення припусків на механічну обробку. Припуск являє собою шар матеріалу, який необхідно зняти із заготовки для досягнення потрібних розмірів, форми, взаємного розташування поверхонь і шорсткості. Недостатній припуск не дає змоги повністю усунути похибки заготовки та дефектний поверхневий шар, а надмірний збільшує трудомісткість, витрати часу та втрати матеріалу [9, 12]. Саме тому припуски повинні бути технологічно обгрунтованими. Основи такого підходу розглядаються в українських підручниках з технології машинобудування і в сучасних підручниках із виробничих технологій.

Для валів, виготовлених із гарячекатаного круглого прокату, доцільно передбачати припуски окремо на чорнову і чистову токарну обробку, а для

найбільш точних шийок — додатковий припуск під шліфування. Це дозволяє побудувати маршрут так, щоб спочатку було знято основний шар матеріалу і сформовано бази, а потім забезпечено необхідну точність відповідальних поверхонь [9, 10]. Для деталей типу «вал барабана» такий підхід є найбільш раціональним.

Важливу роль у технологічному процесі відіграє вибір базування. Для ступінчастих валів найбільш доцільним є використання центрових отворів як технологічних баз. Це забезпечує співвісність усіх циліндричних поверхонь і дає змогу виконувати токарні та шліфувальні операції в єдиній базовій системі. За потреби, особливо для довгих валів, додатково використовують люнети [9]. Саме обробка в центрах рекомендується в більшості навчальних посібників з технології виготовлення валів і забезпечує високу точність обробки.

Для призначення точності посадкових поверхонь доцільно спиратися на ISO 286-1 та ISO 286-2, які встановлюють систему допусків, відхилень і посадок для лінійних розмірів [13, 14]. Згідно з цими стандартами, для різних поверхонь вала можуть призначатися різні квалітети залежно від функції. Для шийок під підшипники зазвичай застосовують більш точні поля допусків, ніж для допоміжних циліндричних поверхонь. Для бакалаврської роботи доцільно прийняти: для поверхонь під підшипники — IT6–IT7, для посадки барабана — IT7–IT8, для менш відповідальних ступенів — IT9–IT11 [13, 14]. Це відповідає практиці машинобудування та є достатнім для обґрунтування технологічного маршруту.

Шорсткість поверхонь доцільно призначати відповідно до ISO 1302 і ISO 21920-2, які регламентують правила позначення параметрів поверхні та термінологію [15, 16]. Для шийок під підшипники доцільно прийняти шорсткість Ra 0,8–1,6 мкм, для посадки барабана — Ra 1,6–3,2 мкм, для допоміжних поверхонь — Ra 3,2–6,3 мкм. Такий вибір узгоджується з практикою токарної та шліфувальної обробки і забезпечує необхідні умови для надійної посадки та довговічної роботи вузла [9, 15, 16].

В таблиці 2.2. наведено рекомендовані параметри точності та якості поверхонь вала барабана. Також в таблиці наводиться інформація щодо функціонального призначення, орієнтовного квалітету та шорсткості.

Таблиця 2.2 – Рекомендовані параметри точності та якості поверхонь вала барабана

Поверхня	Функціональне призначення	Орієнтовний квалітет	Шорсткість
Шийки під підшипники	Посадка підшипників	IT6–IT7	Ra 0,8–1,6
Посадка під барабан	Встановлення барабана	IT7–IT8	Ra 1,6–3,2
Допоміжні і ступені	Перехідні та монтажні поверхні	IT9–IT11	Ra 3,2–6,3
Торці	Базування, упор	за кресленням	Ra 3,2–6,3
Шпонкові пази	Передача крутного моменту	за шириною паза	за технологією

На рис.2.2. наведена схема базування заготовки вала барабана в центрах.

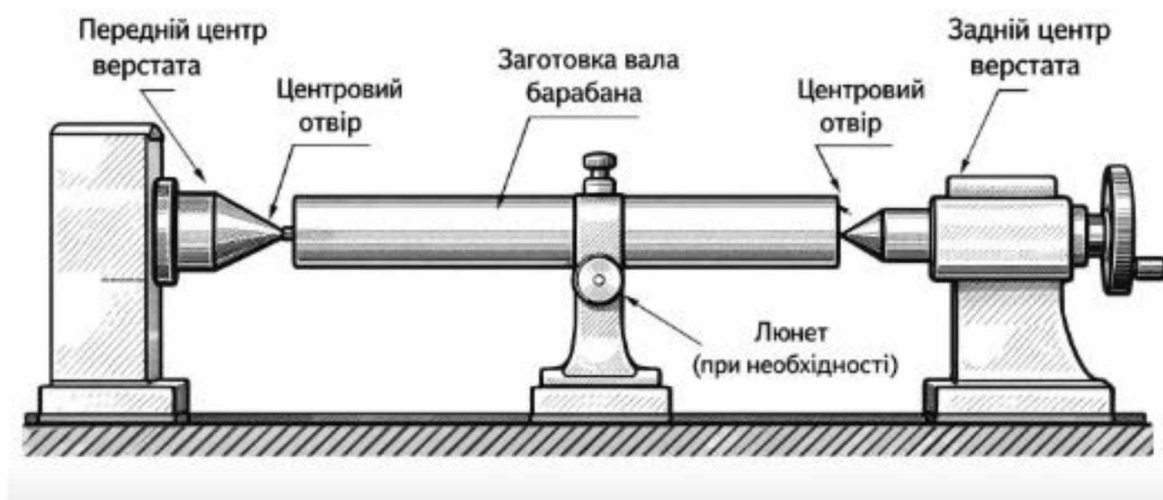


Рисунок 2.2 – Схема базування заготовки вала барабана в центрах

2.3 Розробка маршруту виготовлення деталі

Технологічний маршрут виготовлення вала барабана доцільно формувати за класичною схемою виготовлення ступінчастих валів: підготовка заготовки, формування баз, чорнова токарна обробка, за потреби термічна обробка, чистова обробка, виконання шпонкових пазів, шліфування відповідальних поверхонь і контроль [9, 11, 13]. Подібний маршрут наводиться в українських методичних та навчальних матеріалах з технології машинобудування, а також у посібниках із прикладів технологічного проектування деталей типу «вал».

Першою операцією є відрізання заготовки із круглого прокату на потрібну довжину з урахуванням припусків на підрізання торців. Після цього виконується візуальний контроль заготовки та, за потреби, правлення. Наступною операцією є підрізання торців і виконання центрових отворів. Саме ці отвори стають основною базою для подальшої токарної і шліфувальної обробки [9, 10].

Далі виконується чорнова токарна обробка, під час якої формуються основні ступені вала, проточки, фаски та торці. На цій стадії знімається основний припуск і залишаються невеликі припуски під чистову обробку [9, 12]. Для валів середніх розмірів саме токарна чорнова операція формує геометричну основу майбутньої деталі. Після неї можливе виконання термічної обробки, якщо необхідно підвищити міцність або стабілізувати структуру матеріалу. Для сталі 45 це може бути нормалізація або поліпшення [7, 11]. Після термообробки або безпосередньо після чорнової стадії виконується чистова токарна обробка. На цьому етапі доводяться до потрібних розмірів допоміжні ступені, посадка під барабан, торцеві поверхні, галтелі та фаски.

Особливу увагу потрібно приділити місцям переходу між діаметрами, оскільки саме тут можуть виникати концентратори напружень, які негативно впливають на втомну міцність вала [7]. Це питання окремо розглядається в літературі з деталей машин і машинобудівного проектування.

Наступною операцією є фрезерування шпонкових пазів. Шпонкове з'єднання є одним із найбільш типових способів передавання крутного моменту від вала до маточини барабана або іншого приєднаного елемента. Тому точність виконання шпонкового паза безпосередньо впливає на працездатність вузла [9,

10]. У технологічній практиці такі операції виконують на фрезерних верстатах з використанням шпонкових або кінцевих фрез.

В таблиці 2.3. представлено орієнтовний маршрут виготовлення вала барабана. На рисунку 2.3 наводиться схема технологічного маршруту виготовлення вала барабана із детальною характеристикою операцій.

Таблиця 2.3 – Орієнтовний маршрут виготовлення вала барабана

№ операції	Найменування операції	Короткий зміст
1	Заготівельна	Відрізання заготовки із круглого прокату
2	Підготовча	Підрізання торців, свердління центрових отворів
3	Токарна чорнова	Формування ступенів, торців, проточок
4	Термічна (за потреби)	Нормалізація або поліпшення
5	Токарна чистова	Доведення посадок і торців до заданих розмірів
6	Фрезерна	Виконання шпонкових пазів
7	Шліфувальна	Шліфування шийок під підшипники
8	Контрольна	Контроль розмірів, шорсткості, співвісності

Для найбільш відповідальних поверхонь, насамперед шийок під підшипники, доцільно передбачити шліфування. Саме ця операція забезпечує потрібну точність діаметра, форму циліндричної поверхні та низьку шорсткість [15, 16]. Вона особливо важлива, якщо деталь пройшла термічну обробку або якщо до посадок висуваються підвищені вимоги. Після завершення всіх обробних операцій виконується контроль: вимірювання діаметрів, довжин

ступенів, перевірка співвісності, биття, розмірів шпонкових пазів і шорсткості поверхні [13-16].



Рисунок 2.3 – Схема технологічного маршруту виготовлення вала барабана

2.4 Вибір обладнання, інструменту та пристосувань для обробки

Для виготовлення вала барабана доцільно застосовувати універсальне металообробне обладнання, яке є типовим для машинобудівного виробництва й дає змогу реалізувати весь необхідний маршрут. Основу технологічного оснащення становлять токарний, фрезерний, свердильний і круглошліфувальний верстати [9, 11, 13]. Саме така комбінація обладнання наводиться в навчальній літературі як найбільш поширена для виготовлення деталей обертання.

Базовою операцією є токарна, тому головним обладнанням виступає токарно-гвинторізний верстат. На ньому виконуються підрізання торців,

центрування, чорнова та чистова обробка ступенів, фасок і проточок. Для виконання центрових отворів також може використовуватися свердлильний верстат, хоча в умовах одиничного виробництва цю операцію часто виконують на токарному [9]. Для шпонкових пазів застосовується фрезерний верстат, а для фінішної обробки шийок – круглошліфувальний.

Ріжучий інструмент включає токарні різці, центрові та спіральні свердла, шпонкові фрези, шліфувальні круги [9, 12]. Пристосуваннями виступають патрон, центри, люнет, призми, оправки, лещата і контрольні засоби. Для довгих або недостатньо жорстких заготовок обов'язковим є застосування люнетів [9, 10].

Таблиця 2.4 – Обладнання, інструмент і пристосування для виготовлення вала барабана

Етап	Обладнання	Основне оснащення	Інструмент
Відрізання заготовки	Відрізний / стрічкопильний верстат	Упор	Пилка / різець
Центрування	Токарний або свердлильний	Патрон, центри	Центрове свердло
Чорнова токарна	Токарний	Центри, люнет	Прохідний різець
Чистова токарна	Токарний	Центри	Чистовий різець
Фрезерування паза	Фрезерний	Призма, затиск	Шпонкова фреза
Шліфування	Круглошліфувальний	Центри	Шліфувальний круг
Контроль	Контрольний пост	Призма, стояк	Мікрометр, індикатор

Висновки до розділу 2

У другому розділі виконано технологічне опрацювання деталі «вал барабана». Встановлено, що ця деталь є відповідальним елементом механізму підйому, який працює в умовах одночасної дії кручення, вигину та змінних навантажень. У зв'язку з цим до неї висуваються підвищені вимоги щодо міцності, жорсткості, точності й якості поверхонь.

Для виготовлення вала обґрунтовано вибір сталі 45 як основного матеріалу та гарячекатаного круглого прокату як раціональної заготовки. Такий вибір відповідає типовим підходам, що наводяться в українських і зарубіжних джерелах із технології машинобудування та деталей машин.

У розділі розглянуто питання припусків на обробку, базування, точності та шорсткості поверхонь. Для призначення допусків і посадок доцільно використовувати стандарти ISO 286, а для нормування параметрів поверхні — ISO 1302 та ISO 21920-2. На цій основі прийнято орієнтовні вимоги до посадок шийок під підшипники, посадки барабана та допоміжних поверхонь.

Розроблено орієнтовний маршрут виготовлення деталі та визначено основне обладнання, інструмент і пристосування. Це створює технологічну основу для подальшого виконання конструкторського розділу, де вже будуть визначені конкретні розміри й навантаження на вал барабана.

РОЗДІЛ 3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ

3.1 Вихідні дані та вибір основних параметрів машини

У роботі для переміщення вантажів на висоту прийнято канатний механізм підйому з барабаном та електричним приводом. Такий механізм є одним із найбільш поширених у підйомно-транспортних машинах, оскільки поєднує простоту конструкції, надійність роботи, зручність обслуговування та можливість використання стандартних вузлів і деталей. Його застосовують у лебідках, тельферах, кранах, підйомниках і різних вантажопідіймальних установках [1, 5].

Перевагою барабанного механізму є те, що він забезпечує чітке напрямлене намотування каната, дозволяє досить просто передавати зусилля від приводу до вантажу та дає змогу використовувати поліспаст для зменшення натягнення каната. Крім того, така схема добре піддається інженерному розрахунку, що є важливим для бакалаврської роботи, де потрібно обґрунтувати вибір основних елементів конструкції [1, 2, 7].

Прийнята конструкція механізму включає електродвигун, муфту, редуктор, барабан, вал барабана, підшипникові опори, канат, поліспаст і гальмівний пристрій. Усі ці елементи утворюють єдину кінематичну систему. Джерелом енергії є електродвигун. Через муфту крутний момент передається на редуктор, який зменшує частоту обертання і водночас збільшує крутний момент. Далі рух передається на барабан, на який намотується канат. Канат через поліспаст з'єднується з вантажозахоплювальним органом і забезпечує піднімання вантажу

Для подальших розрахунків необхідно задати вихідні параметри машини:

- вантажопідйомність $Q=5000$ кг;
- висоту підйому $H=6$ м;
- швидкість підйому вантажу v , м/с;
- кратність поліспаста $u=2$;
- коефіцієнт корисної дії поліспаста $\eta_{\text{п}}=0.96$;
- коефіцієнт корисної дії механізму $\eta=0.85$.

Прийнята вантажопідйомність 5 т є цілком типовою для механізмів підйому загального призначення, які можуть використовуватись у виробничих цехах, ремонтних майстернях або на невеликих складських дільницях. Висота підйому 6 м також є реалістичною для такого типу обладнання. Вибрана швидкість підйому 0,16 м/с забезпечує достатню продуктивність при збереженні прийняттого рівня безпеки та плавності роботи.

Спочатку визначається вага вантажу:

$$G = Q \cdot g, \quad (3.1)$$

де $g=9,81$ м/с.

Підставляємо значення: $G=5000 \cdot 9,81=49050$ Н

Отже, вага вантажу дорівнює: $G=49,05$ кН.

Оскільки в механізмі використовується поліспаг з кратністю 2, натягнення в канаті буде меншим за повну вагу вантажу. Це і є однією з головних переваг поліспага — зменшення зусилля, яке сприймає канат і яке повинен передати барабан.

Зусилля в канаті визначається за формулою:

$$S = \frac{Q \cdot g}{u \cdot \eta_{\Pi}} \quad (3.2)$$

Підставляємо значення: $S=5000 \cdot 9,812 \cdot 0,96=25546,88$ Н.

Приймаємо: $S=25,55$ кН

Отримане значення є дуже важливим, оскільки саме воно використовується для вибору каната, визначення моменту на барабані та подальшого розрахунку вала.

Наступним етапом є визначення швидкості руху каната. Оскільки кратність поліспага дорівнює 2, швидкість каната буде вдвічі більшою за швидкість підйому вантажу:

$$v_k = u \cdot \vartheta$$

Отже, швидкість намотування каната на барабан дорівнює:

$$v_k = 2 \cdot 0,16 = 0,32 \text{ м/с.}$$

Це значення використовується для визначення частоти обертання барабана, а отже і для вибору редуктора та електродвигуна [1, 7].

На рис.3.1. представлена кінематична схема механізму підйому вантажу.

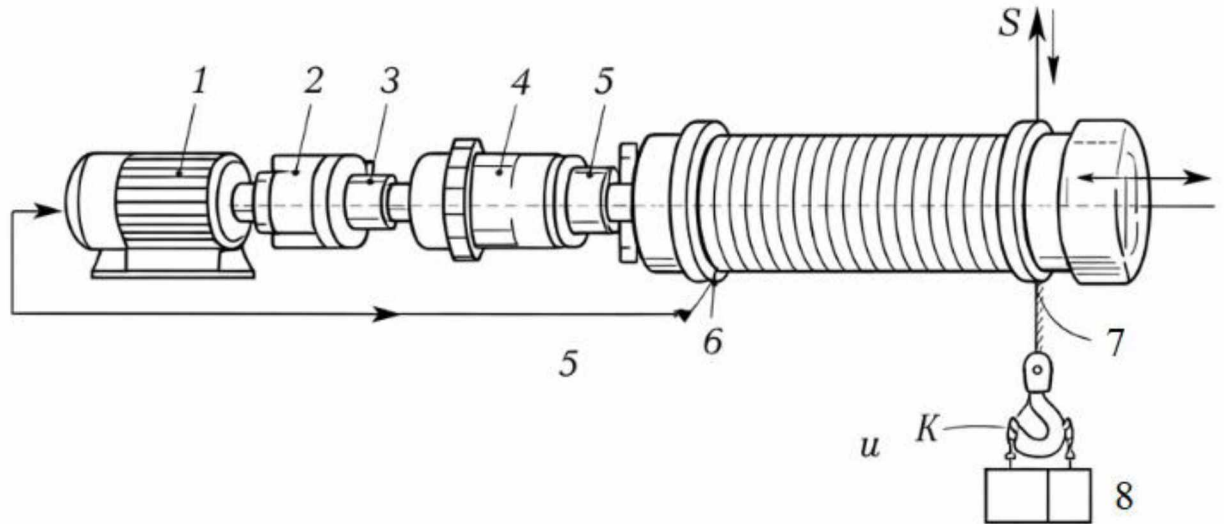


Рисунок 3.1 – Кінематична схема механізму підйому вантажу: 1 – електродвигун; 2 – муфта; 3 – редуктор; 4 – гальмо; 5 – вал приводу; 6 – барабан; 7 – канат; 8 – гак (вантаж).

3.2 Кінематичний і силовий розрахунок механізму підйому

Після визначення основних вихідних величин необхідно перейти до кінематичного і силового розрахунку механізму підйому. Метою цього етапу є встановлення взаємозв'язку між швидкістю руху вантажу, швидкістю намотування каната, частотою обертання барабана, передаточним числом редуктора та потужністю приводу.

Одним із перших параметрів, який слід визначити, є діаметр барабана. Його вибір не є довільним. Якщо барабан буде занадто малим, канат зазнаватиме надмірного перегину, що призведе до прискореного зношування і зменшення строку служби. Якщо ж барабан буде занадто великим, зростуть габарити, маса та матеріалоємність механізму. Тому діаметр барабана вибирається у певному співвідношенні до діаметра каната [1, 2].

Для попереднього розрахунку використовують залежність [1, 2, 7]:

$$D_6 = e \cdot d_k \quad (3.4)$$

де e – коефіцієнт, d_k – діаметр каната.

Приймаємо $e=20$, а діаметр каната попередньо вибираємо $d_k=15$ мм. Тоді:
 $D_6=20 \cdot 15=0,30$ м.

Отриманий діаметр барабана є технічно доцільним, оскільки він забезпечує нормальні умови роботи каната і водночас не призводить до надмірного збільшення габаритів механізму.

Після цього визначається частота обертання барабана:

$$n_6 = \frac{60 \cdot v_k}{\pi \cdot D_6} \quad (3.5)$$

Підставляємо значення: $n_6=20,38$ об/хв.

Приймаємо: $n_6=20,4$ об/хв.

Цей результат означає, що барабан повинен обертатися приблизно 20 разів за хвилину, щоб забезпечити задану швидкість підйому вантажу. Оскільки частота обертання електродвигуна набагато вища, між двигуном і барабаном обов'язково повинен бути редуктор.

Статичну потужність, необхідну для підйому вантажу, визначаємо за формулою [1, 5, 7]:

$$N_{ст} = \frac{Q \cdot g \cdot v}{1000 \cdot \eta} \quad (3.6)$$

Тоді: $N_{ст}=9,23$ кВт

Отримане значення показує мінімальну необхідну потужність приводу без урахування запасу. Проте в реальних умовах роботи механізму мають місце динамічні навантаження, перевантаження під час пуску, нерівномірність навантаження та інші фактори, тому двигун вибирають із запасом потужності.

У зв'язку з цим приймаємо електродвигун потужністю: $N_{дв}=11$ кВт

Такий вибір є обґрунтованим, оскільки найближче стандартне значення 11 кВт забезпечує запас потужності і не є надмірним.

Далі визначаємо необхідне передаточне число редуктора:

$$i = n_{\text{дв}} / n_{\text{б}}. \quad (3.7)$$

Тобто $i = 49,07$. Приймаємо стандартне значення: $i=50$.

Отже, редуктор повинен приблизно у 50 разів зменшувати частоту обертання двигуна. Це цілком відповідає типовим циліндричним редукторам, що застосовуються в підйомних механізмах.

Крутний момент на барабані:

$$M_{\text{б}} = S \cdot D_{\text{б}} / 2 \quad (3.8)$$

Тобто: $M_{\text{б}} = 3832,03$ Нм.

Це досить велике значення, що пояснюється значною вантажопідйомністю. Саме цей момент повинен сприймати вал барабана.

Крутний момент на валу двигуна:

$$M_{\text{дв}} = \frac{9550 \cdot N_{\text{дв}}}{n_{\text{дв}}} \quad (3.9)$$

Таким чином, $M_{\text{дв}} = 105,05$ Н·м

Зіставлення моментів на валу двигуна і на барабані підтверджує правильність вибору редуктора, який забезпечує не лише зменшення частоти обертання, а й відповідне збільшення моменту.

Для забезпечення безпечної роботи механізму необхідно також визначити гальмівний момент:

$$M_{\text{Г}} = 1,5 \cdot M_{\text{дв}}. \quad (3.10)$$

$M_{\text{Г}} = 1,5 \cdot 105,05 = 157,58$ Нм. Приймаємо: $M_{\text{Г}} = 160$ Нм.

Такий гальмівний момент забезпечує надійне утримання вантажу після вимкнення приводу і створює необхідний запас безпеки.

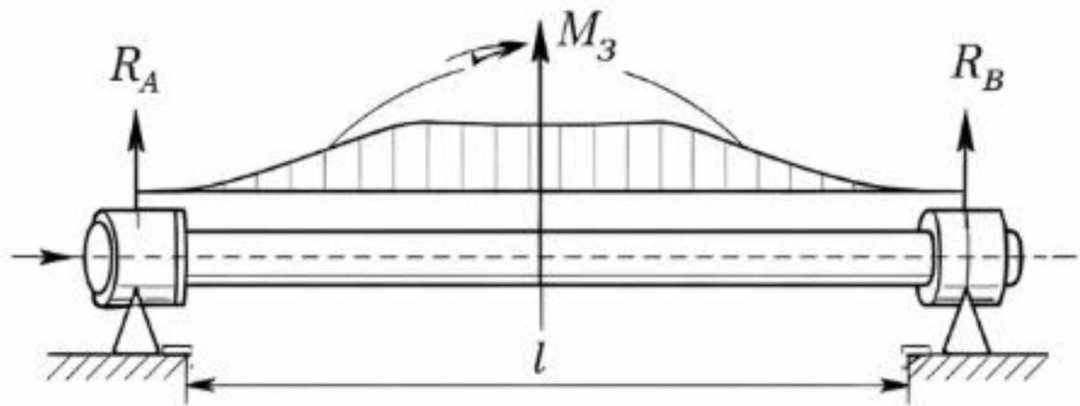


Рисунок 3.2 – Силова схема механізму підйому

3.3 Розрахунок основних конструктивних елементів на міцність і жорсткість

3.3.1 Вибір каната

Сталевий канат є одним із найвідповідальніших елементів механізму підйому, оскільки саме він безпосередньо сприймає зусилля від вантажу. Від правильності його вибору залежить не лише надійність механізму, а й безпека роботи в цілому. Канат повинен мати достатнє розривне зусилля, бути достатньо гнучким для роботи на барабані та блоках, а також витримувати багаторазові цикли навантаження.

Умова вибору каната має вигляд:

$$F_p \geq k \cdot S, \quad (3.11)$$

де k – коефіцієнт запасу міцності.

Для механізмів підйому приймаємо $k=5$. Тоді: $F_p \geq 5 \cdot 25,55=127,75$ кН.

Отже, слід вибрати канат, розривне зусилля якого не менше за 127,75 кН.

Для попереднього проєктування приймаємо канат діаметром: $d_k=15$ мм

Такий вибір є обґрунтованим для механізму з вантажопідйомністю 5 т і кратністю поліспада 2 [1, 2].

3.3.2 Розрахунок барабана

Барабан призначений для намотування каната і передавання тягового зусилля від приводу до вантажу. Його геометричні параметри повинні забезпечувати не лише міцність, а й правильне укладання каната [1, 2, 7].

Крок навивки каната:

$$t = d_k + 2. \quad (3.12)$$

Таким чином, $t = 15 + 2 = 17$ мм.

Кількість робочих витків каната:

$$z = \frac{H \cdot u}{\pi \cdot D_6} \quad (3.13)$$

Таким чином, $z = 12,74$. Приймаємо: $z = 13$ витків.

До них додаємо запасні витки та витки для кріплення:

$$z_{\Sigma} = 13 + 3 + 2 = 18 \quad (3.14)$$

Довжина барабана:

$$L_6 = z_{\Sigma} \cdot t \quad (3.15)$$

Тобто: $L_6 = 18 \cdot 17 = 306$ мм. З урахуванням запасу приймаємо: $L_6 = 340$ мм.

Товщина стінки барабана:

$$\delta = 0,02D_6 + 10 \quad (3.16)$$

Тобто: $\delta = 0,02 \cdot 300 + 10 = 16$ мм.

Отже, барабан матиме цілком реальні конструктивні параметри: діаметр 300 мм, довжину 340 мм і товщину стінки 16 мм.

3.3.3 Розрахунок вала барабана

Вал барабана сприймає один із найбільш складних видів навантаження, оскільки одночасно працює на кручення та згин. Тому його не можна розраховувати лише за крутним моментом — обов'язково потрібно враховувати сумісну дію обох факторів.

Попередній діаметр вала за крученням [7-9]:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_k}{\pi[\tau]}} \quad (3.17)$$

Приймаємо: $[\tau]=40$ МПа. Тоді: $d=16 \cdot 3,832 \cdot 1063,14 \cdot 403=78,7$ мм. Приймаємо конструктивно: $d=80$ мм.

Для визначення згинального моменту приймаємо відстань між опорами $l=250$ мм. Реакції опор:

$$R_A = R_B = S/2 \quad (3.18)$$

Таким чином $R_A=12,77$ кН.

Максимальний згинальний момент:

$$M_3 = (S \cdot l) / 4 \quad (3.19)$$

Тобто: $M_3 = (25546,88 \cdot 250)/4=1,597 \cdot 10_6$ Нм.

Еквівалентний момент:

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{M_3^2 + M_k^2} \quad (3.20)$$

$M_{\text{екв}} = 4,152 \cdot 10_6$ Нм.

Еквівалентне напруження:

$$\sigma_{\text{екв}} = \frac{32 \cdot M_{\text{екв}}}{\pi \cdot d^3} \quad (3.21)$$

Тобто: $\sigma_{\text{екв}}=82,6$ МПа.

Отримане значення є допустимим для сталі 45, отже вал діаметром 80 мм забезпечує необхідну міцність [7-9, 11].

3.3.4 Вибір підшипників

Підшипники вала барабана повинні забезпечувати надійну роботу механізму в умовах дії радіальних навантажень [7, 8].

На кожному опорі діє реакція: $P = R_A = 12,77$ кН.

При ресурсі роботи 10000 год кількість обертів:

$$L_{10} = \frac{60 \cdot n_6 \cdot L_h}{10^6} \quad (3.22)$$

Тобто: $L_{10} = 12,23$ млн. обертів

Необхідна динамічна вантажопідйомність:

$$C = P \cdot L_{10}^{1/3} \quad (3.23)$$

Тобто: $C = 12,77 \cdot 12,23^{1/3} = 29,4$ кН.

Отже, потрібен підшипник з динамічною вантажопідйомністю не менше 29,4 кН. Для подальшого конструювання приймаємо стандартний радіальний кульковий підшипник із запасом вантажопідйомності.

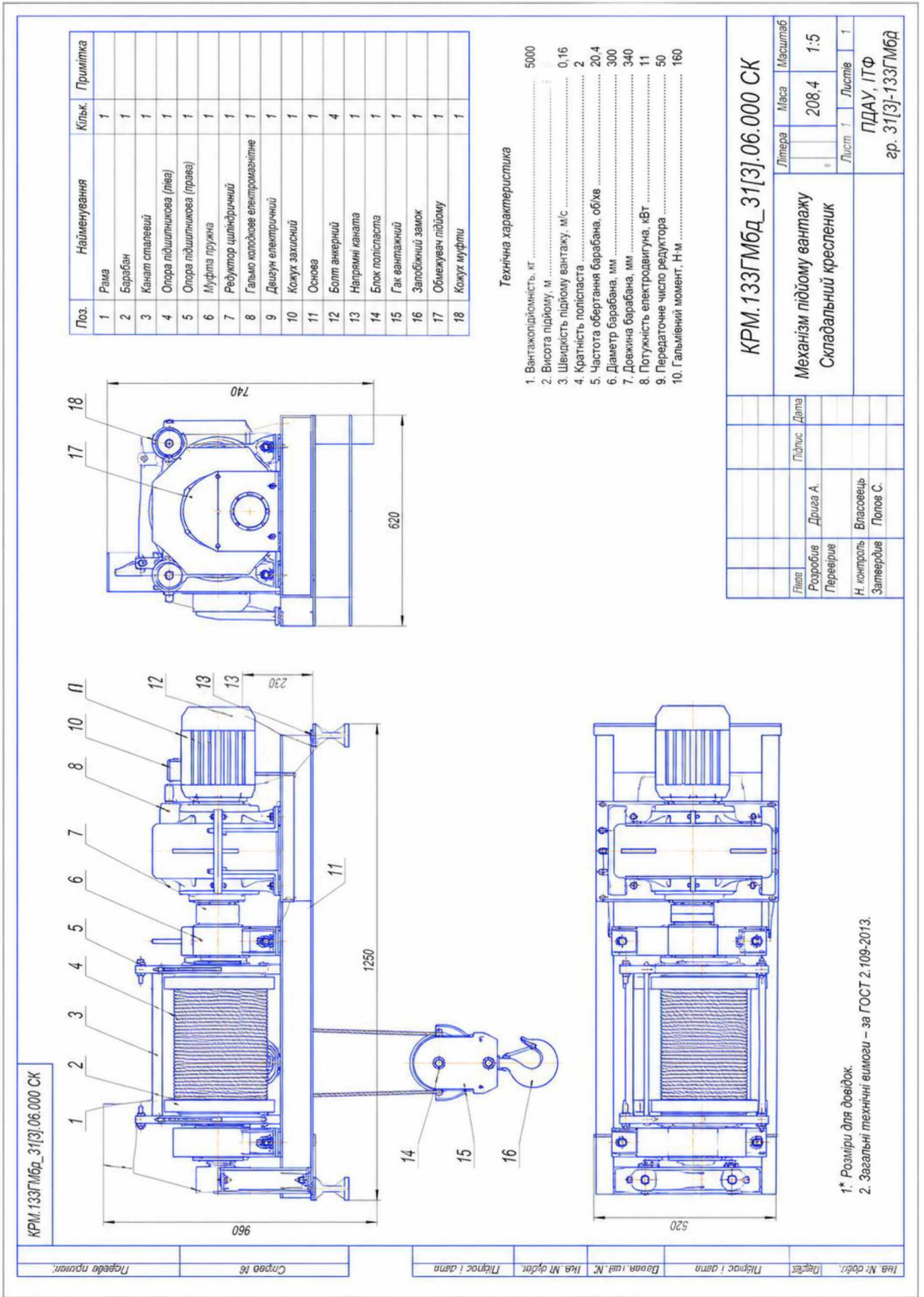
3.4 Опис конструкції розробленої або модернізованої машини

У результаті виконаних розрахунків прийнято конструкцію машини для переміщення вантажів на висоту у вигляді канатного механізму підйому вантажопідйомністю 5 т. Привід механізму складається з електродвигуна потужністю 11 кВт, муфти, редуктора з передаточним числом 50 та гальма з моментом 160 Н·м.

Виконавчий орган механізму представлений барабаном діаметром 300 мм і довжиною 340 мм. На барабан намотується сталевий канат діаметром 15 мм. Барабан установлений на валу діаметром 80 мм, який спирається на підшипникові опори. Через поліспаст із кратністю 2 зусилля передається до вантажозахоплювального органа.

Запропонована конструкція є достатньо простою, технологічною і придатною для експлуатації в умовах виробничих та ремонтних дільниць. Вона забезпечує необхідну вантажопідйомність, має прийнятні габарити та дозволяє використовувати стандартні вузли й деталі [1, 5, 7].

На рис.3.3 представлена загальна конструктивна схема механізму підйому.



Висновки до розділу 3

У третьому розділі бакалаврської роботи виконано конструкторський розрахунок машини для переміщення вантажів на висоту на основі канатного механізму підйому. Прийнята схема включає електродвигун, редуктор, муфту, барабан, сталевий канат, поліспасть, вал барабана, підшипникові опори та гальмівний пристрій.

Для розрахунку були прийняті такі вихідні дані: вантажопідйомність 5 т, висота підйому 6 м, швидкість підйому 0,16 м/с, кратність поліспасти 2. На їх основі визначено основні параметри механізму. Встановлено, що вага вантажу становить 49,05 кН, а зусилля в канаті — 25,55 кН. Швидкість намотування каната на барабан становить 0,32 м/с, а необхідна частота обертання барабана — 20,4 об/хв.

У процесі кінематичного та силового розрахунку визначено, що статична потужність механізму становить 9,23 кВт, тому для забезпечення нормальної роботи прийнято електродвигун потужністю 11 кВт. Необхідне передаточне число редуктора дорівнює 50. Також визначено крутний момент на барабані, який склав 3,83 кН·м, а гальмівний момент, необхідний для надійного утримання вантажу, прийнято на рівні 160 Н·м.

У розрахунку основних конструктивних елементів встановлено, що для даного механізму доцільно використати сталевий канат діаметром 15 мм. Виходячи з цього, діаметр барабана прийнято 300 мм, а його довжину — 340 мм. Товщина стінки барабана становить 16 мм, що забезпечує достатню міцність конструкції.

Особливу увагу приділено розрахунку вала барабана, який працює в умовах одночасної дії кручення та згину. У результаті розрахунку прийнято діаметр вала 80 мм. Також виконано попередній вибір підшипників, для яких визначено необхідну динамічну вантажопідйомність 29,4 кН.

РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІКА, ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Економічне обґрунтування доцільності розробки

Розробка машини для переміщення вантажів на висоту канатного типу має важливе техніко-економічне значення, оскільки використання механізованого підйому дає змогу скоротити витрати ручної праці, підвищити продуктивність виробничих і ремонтних операцій, зменшити тривалість допоміжних процесів та підвищити безпеку виконання робіт. Для вантажопідіймального обладнання економічна ефективність досягається не лише завдяки зменшенню витрат часу, а й завдяки підвищенню надійності, керованості, зниженню ймовірності пошкодження вантажів і покращенню організації праці. Вимоги до безпечної конструкції, експлуатації, технічного обслуговування та контролю підіймального обладнання регламентуються нормативними документами з безпеки машин і кранів [17, 19, 20].

Економічну доцільність запропонованої конструкції визначають такі основні чинники: зменшення трудомісткості підйомно-транспортних операцій; скорочення часу переміщення вантажів; використання стандартних вузлів і деталей; зниження витрат на обслуговування завдяки простоті конструкції; достатня ремонтпридатність; можливість багаторазового використання машини в умовах виробничих ділянок, майстерень або складів. Для машин такого типу особливо важливо, що правильно виконана оцінка ризику ще на стадії проектування дає змогу зменшити майбутні експлуатаційні витрати, пов'язані з аварійністю, простоями та пошкодженням елементів системи [17].

Повну собівартість виготовлення машини доцільно визначати як суму витрат на матеріали, комплектуючі вироби, оплату праці, енергію та інші виробничі витрати:

$$C_B = C_M + C_K + C_{ЗП} + C_{ЕН} + C_{ІН} \quad (4.1)$$

де C_m – витрати на основні й допоміжні матеріали; C_k – витрати на стандартні комплектуючі вироби; $C_{зп}$ – витрати на оплату праці; $C_{ен}$ – витрати на електроенергію; $C_{ін}$ – інші виробничі та накладні витрати.

Для навчального техніко-економічного обґрунтування прийmemo (таблиця 1): матеріали – 18500 грн; комплектуючі та стандартні вузли – 42000 грн; заробітна плата на виготовлення і складання – 14500 грн; енергетичні та накладні витрати – 10000 грн.

Тоді повна собівартість становитиме:

$$C_B = 18500 + 42000 + 14500 + 10000 = 85000 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.1 – Структура витрат на виготовлення машини

№ з/п	Стаття витрат	Сума, грн	Частка, %
1	Основні матеріали	18500	21,8
2	Комплектуючі вироби та стандартні вузли	42000	49,4
3	Заробітна плата на виготовлення і складання	14500	17,1
4	Енергетичні та накладні витрати	10000	11,7
	Разом	85000	100,0

Отримане значення для машини, у конструкції якої застосовуються електродвигун, редуктор, муфта, гальмівний пристрій, барабан, канат, підшипникові вузли та металева несуча частина є реальним. Використання стандартних елементів зменшує вартість виготовлення і полегшує подальший ремонт [19, 20].

Для оцінки річного економічного ефекту врахуємо скорочення тривалості виконання однієї підйомної операції. Приймемо, що застосування розробленого механізму дозволяє зменшити тривалість однієї операції на 10 хв порівняно з

ручним або маломеханізованим способом. За річного обсягу 500 операцій економія часу становитиме:

$$T_e = (10 \cdot 500) / 60 = 83,3 \text{ год.}$$

За середньої вартості однієї людино-години 180 грн економія трудових витрат дорівнює:

$$E_T = 83,3 \cdot 180 = 14994 \text{ грн.}$$

Додатково слід врахувати зменшення втрат від простоїв, пошкодження вантажів, нерациональних ручних операцій і допоміжних витрат. Для навчального розрахунку приймемо такий додатковий ефект на рівні 10 000 грн за рік. Тоді сумарний річний економічний ефект становитиме:

$$E_p = 14994 + 10000 = 24994 \text{ грн.}$$

Строк окупності визначається за формулою:

$$T_{ок} = C_v / E_p,$$

В таблиці 4.2. наведено розрахунок річного економічного ефекту.

Таблиця 4.2 – Розрахунок річного економічного ефекту

Показник	Позначення	Значення	Одиниця виміру
Кількість операцій за рік	n	500	операцій
Економія часу на одну операцію	T	10	хв
Загальна економія часу	T_e	83,3	год
Вартість однієї людино-години	$C_{год}$	180	грн/год

Економія трудових витрат	E_T	14994	грн
Додатковий економічний ефект	E_d	10000	грн
Сумарний річний економічний ефект	E_p	24994	грн
Повна собівартість виготовлення	C_B	85000	грн
Орієнтовний строк окупності	$T_{ок}$	3,4	роки

Таким чином строк окупності, складає приблизно 3,4 роки. Такий строк окупності свідчить про економічну доцільність впровадження машини, особливо за умов регулярного використання в ремонтних, складських або виробничих процесах. За більш інтенсивної експлуатації реальний строк окупності буде меншим. Отже, запропонована конструкція є економічно обґрунтованою, оскільки забезпечує скорочення трудових витрат, підвищення продуктивності та покращення організації робіт [17, 19].

4.2 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів під час виготовлення та експлуатації

Під час виготовлення деталей машини та її подальшої експлуатації на працівників можуть діяти небезпечні й шкідливі виробничі фактори механічного, електричного, термічного, шумового та організаційного характеру. Загальні принципи виявлення небезпек, оцінювання ризиків і вибору заходів зниження ризику під час проєктування машин установлені ISO 12100:2010. Цей стандарт передбачає врахування всіх стадій життєвого циклу машини: виготовлення, монтажу, експлуатації, технічного обслуговування, ремонту та виведення з експлуатації [17].

На стадії виготовлення основними небезпечними факторами є обертові частини металорізального обладнання, ріжучий інструмент, виліт стружки,

абразивного пилю та частинок, підвищений рівень шуму і вібрації, небезпека ураження електричним струмом, а також вплив мастильно-охолоджувальних рідин. Особливо небезпечними є токарні, фрезерні та шліфувальні операції, оскільки вони супроводжуються високими швидкостями обертання, можливістю руйнування інструменту або шліфувального круга та ризиком травмування оператора. В Україні вимоги до безпеки роботи з інструментом, пристроями та абразивним інструментом регламентуються відповідними правилами охорони праці [21, 22].

В таблиці 4.3 наводяться основні небезпечні та шкідливі фактори під час виготовлення та експлуатації машини.

Таблиця 4.3 – Основні небезпечні та шкідливі фактори під час виготовлення та експлуатації машини

№ з/п	Небезпечний або шкідливий фактор	Джерело виникнення	Можливі наслідки	Заходи запобігання
1	Рухомі частини верстатів і механізмів	Токарна, фрезерна, шліфувальна обробка; привід машини	Травмування рук, зтягування одягу	Огородження, інструктаж, справне обладнання
2	Металева стружка, абразивний пилю	Механічна обробка деталей	Пошкодження очей, подразнення шкіри та дихальних шляхів	Захисні окуляри, вентиляція, очищення робочого місця
3	Підвищений рівень шуму і вібрації	Робота верстатів, редуктора, електродвигуна	Втома, зниження працездатності	Технічне обслуговування, раціональний режим роботи
4	Ураження електричним струмом	Електропривод, електрообладнання	Травмування, аварія	Заземлення, справна ізоляція, перевірка

				електрообладнання
5	Падіння або розгойдування вантажу	Робота підйомного механізму	Травматизм, пошкодження вантажу	Справне гальмо, контроль стропування, заборона перебування під вантажем
6	Обрив каната	Знос, перевантаження, неправильна експлуатація	Аварія, падіння вантажу	Регулярний огляд, своєчасна заміна каната
7	Пожежна небезпека	Електрообладнання, мастильні матеріали	Пожежа, пошкодження майна	Дотримання правил пожежної безпеки, вогнегасники
8	Психофізіологічне навантаження	Робота оператора	Помилкові дії, зниження уваги	Інструктаж, регламент праці, допуск підготовлено

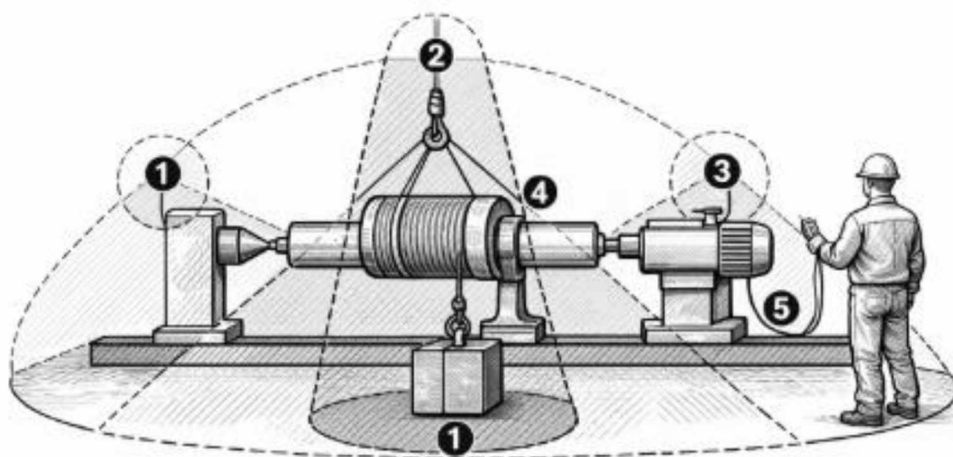


Рис. 4.1 – Основні небезпечні зони під час експлуатації машини для переміщення: 1 – зона під вантажем, зона під піднятим вантажем; 2 – зона навівання канату на барабан; 3 – зона приводу – зона приводу і редуктора; 4 – зона переміщення; 5 – робоче місце оператора

На стадії експлуатації машини найбільш небезпечними факторами є падіння або розгойдування вантажу, перевантаження механізму, руйнування каната, відмова гальма, затискання працівника рухомими елементами, ураження електричним струмом, а також помилки оператора під час стропування, піднімання, транспортування й опускання вантажу. Нормативні вимоги до конструкції, огляду, експлуатації та технічного обслуговування вантажопідіймальних механізмів містяться в правилах з експлуатації вантажопідіймальних кранів, а також у документах OSHA 1910.179 і ASME B30.2, які акцентують увагу на допустимих навантаженнях, випробуваннях, інспекціях, маркуванні та безпечному управлінні підіймальним обладнанням [18-20].

Окрему небезпеку становить канатна система. Згідно з правилами охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних кранів, для різних режимів роботи встановлюються мінімальні коефіцієнти запасу міцності каната, а також коефіцієнти вибору діаметра барабана і блоків. Це має принципове значення для забезпечення безпечної та довговічної роботи механізму [18]. Водночас ISO 2408:2017 встановлює вимоги до сталевих канатів щодо виготовлення, випробувань, приймання та маркування, що робить цей стандарт важливим джерелом для обґрунтування технічних рішень у роботі.

До шкідливих факторів також належать нервово-емоційне напруження, підвищена відповідальність оператора, ризик помилкових дій у стресових виробничих умовах, а також дія шуму й вібрації. За відсутності належної організації робочого місця, інструктажу та технічного обслуговування ці фактори можуть призводити до травматизму, аварійних ситуацій, псування обладнання і зниження загальної ефективності праці [17].

4.3 Заходи з охорони праці, техніки безпеки та пожежної безпеки

Зниження рівня виробничого ризику забезпечується поєднанням технічних, організаційних та санітарно-гігієнічних заходів. Відповідно до ISO 12100:2010, пріоритет мають заходи безпеки, закладені в саму конструкцію машини, далі — технічні захисні засоби, і лише після цього — попереджувальна

інформація, інструктаж і використання засобів індивідуального захисту. Тому вже на стадії проєктування доцільно передбачити достатній запас міцності елементів механізму, захисні кожухи на обертових вузлах, надійне гальмо, можливість безпечного технічного обслуговування та чітку схему передавання навантаження [17].

Під час виготовлення деталей слід використовувати справне металообробне обладнання, забезпечувати надійне закріплення заготовок, перевіряти справність інструменту, не допускати видалення стружки руками, застосовувати захисні окуляри, спецодяг і спецвзуття, а також дотримуватися правил безпечної роботи з інструментом та абразивним обладнанням. Для шліфувальних операцій важливими є захисні екрани, перевірка круга перед установленням, дотримання допустимих швидкостей і використання місцевого відсмоктування пилу. Такі вимоги прямо впливають із чинних правил охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями і правил охорони праці під час роботи з абразивним інструментом [21, 22].

Під час експлуатації розробленої машини необхідно регулярно перевіряти технічний стан каната, барабана, редуктора, муфти, підшипникових вузлів і гальмівного пристрою. До роботи допускається лише навчений персонал, який знає правила стропування вантажів, порядок роботи з підймальним обладнанням і дії у разі аварійної ситуації. Забороняється перевищувати номінальну вантажопідйомність, перебувати людям під піднятим вантажем, виконувати ривки під час підймання або опускання, а також працювати на несправному обладнанні. Необхідність регулярних оглядів, випробувань, позначення допустимого навантаження та контролю критичних елементів прямо підкреслюється в OSHA 1910.179, ASME B30.2 та українських правилах охорони праці під час експлуатації вантажопідймальних кранів [18-20].

З метою електробезпеки необхідно забезпечити справність ізоляції, наявність заземлення, справну пускову та захисну апаратуру, а також своєчасну перевірку електродвигуна й кабельних ліній. Усі роботи з ремонту електрообладнання слід виконувати лише після повного знеструмлення установки та вивішування попереджувальних знаків. Для попередження

травмування потрібно чітко визначити небезпечну зону роботи механізму, забезпечити достатню освітленість і виключити безладне розміщення сторонніх предметів на робочому місці [17, 18].

Пожежна безпека при виготовленні та експлуатації машини має базуватися на вимогах Кодексу цивільного захисту України, який визначає пожежну безпеку як стан захищеності життя і здоров'я людей, майна та навколишнього природного середовища від пожеж. Практично це означає недопущення перевантаження електромережі, використання справної електроапаратури, зберігання мастильних матеріалів у належних умовах, наявність первинних засобів пожежогасіння, вільних евакуаційних проходів та проведення інструктажів для персоналу [23].

В таблиці 4.4 наводяться заходи безпеки під час виготовлення та експлуатації машин.

Отже, належна реалізація заходів з охорони праці, техніки безпеки та пожежної безпеки дає змогу суттєво знизити ризик травматизму, підвищити надійність роботи механізму та забезпечити відповідність його експлуатації нормативним вимогам [17, 18].

Таблиця 4.4 – Заходи безпеки під час виготовлення та експлуатації машини

Вид робіт	Основна небезпека	Захисний захід	Засоби захисту
Заготівельні роботи	Травмування під час різання заготовки	Надійне закріплення заготовки	Рукавиці, спецодяг
Токарна обробка	Захоплення обертовими частинами, стружка	Захисні кожухи, правильне базування	Окуляри, спецодяг
Фрезерна обробка	Травмування інструментом	Справний інструмент, фіксація заготовки	Окуляри, рукавиці

Шліфувальна обробка	Абразивний пилю, руйнування круга	Перевірка круга, захисний екран	Окуляри, респіратор
Монтаж вузлів	Падіння деталей, заземлення	Використання справних пристроїв	Рукавиці, спецвзуття
Експлуатація машини	Падіння вантажу, обрив каната	Перевірка гальма, каната, заборона перевантаження	Каска, спецвзуття
Технічне обслуговування	Ураження струмом, травмування	Повне знеструмлення, блокування пуску	Інструмент з ізоляцією

4.4 Заходи з охорони навколишнього середовища

Під час виготовлення та експлуатації машини для переміщення вантажів на висоту необхідно враховувати екологічні аспекти, пов'язані з утворенням відходів, споживанням енергії, використанням мастильних матеріалів і можливим забрудненням навколишнього середовища. Закон України «Про управління відходами» визначає правові й організаційні засади запобігання утворенню відходів, зменшення їх обсягів, підготовки до повторного використання, рециклінгу та відновлення з метою недопущення негативного впливу на здоров'я людей і довкілля. Це положення є базовим для організації природоохоронних заходів на машинобудівних та ремонтних дільницях [24].

На стадії виготовлення основними джерелами впливу на довкілля є металева стружка, відпрацьовані мастильно-охолоджувальні рідини, абразивний пилю, використані шліфувальні матеріали, тара і пакувальні відходи, а також споживання електроенергії верстатним обладнанням. Для зниження екологічного навантаження необхідно організувати роздільне збирання металевих відходів і передачу їх на перероблення, контролювати поводження з мастильними матеріалами, не допускати їх потрапляння в ґрунт або каналізацію,

використовувати справну вентиляцію і раціональні режими обробки, що зменшують втрати енергії та матеріалів. Відповідність такому підходу загалом узгоджується з принципами ISO 14001:2015, який задає рамку системного управління екологічними аспектами діяльності організації [25].

На стадії експлуатації машини екологічний вплив є обмеженим, однак також потребує контролю. До основних аспектів належать споживання електроенергії, можливі витіки мастил із редуктора або підшипникових вузлів, шум і вібрація, а також утворення відходів у процесі ремонту. Для зменшення такого впливу доцільно застосовувати енергоефективний електропривод, своєчасно обслуговувати ущільнення і вузли тертя, використовувати мастильні матеріали в нормованій кількості, а відпрацьовані мастила та забруднені матеріали збирати в окремі ємності з подальшою передачею на належне поводження [24, 25].

В таблиці 4.5 наводять інформація про заходи щодо зменшення впливу на навколишнє середовище.

Таблиця 4.5 – Заходи щодо зменшення впливу на навколишнє середовище

Джерело впливу	Характер впливу	Запобіжний захід
Металева стружка	Утворення твердих відходів	Збирання та передача на переробку
Мастильні матеріали	Можливе забруднення ґрунту і води	Герметичне зберігання, контроль витоків
Абразивний пил	Забруднення повітря робочої зони	Вентиляція, локальне відсмоктування
Шум і вібрація	Негативний вплив на працівників	Своєчасне технічне обслуговування
Споживання електроенергії	Використання енергоресурсів	Раціональні режими роботи, справний привід

Відходи ремонту	Утворення використаних деталей і мастил	Сортування та належна утилізація
--------------------	---	-------------------------------------

За умови належної організації виробництва, технічного обслуговування і поводження з відходами розроблена машина не створює значного негативного впливу на довкілля, а екологічна безпечність забезпечується переважно дотриманням вимог законодавства і впровадженням елементів системного екологічного управління.

Висновки до розділу 4

У четвертому розділі виконано розширене економічне обґрунтування доцільності розробки машини для переміщення вантажів на висоту та розглянуто питання охорони праці, техніки безпеки, пожежної безпеки й охорони навколишнього середовища. Встановлено, що застосування канатного механізму підйому є економічно виправданим, оскільки дає змогу скоротити трудомісткість робіт, зменшити тривалість виконання допоміжних операцій і підвищити продуктивність праці. Орієнтовний строк окупності запропонованої конструкції становить близько 3,4 року, що свідчить про доцільність її використання за умов регулярної експлуатації.

У розділі визначено основні небезпечні та шкідливі фактори, що виникають під час виготовлення й експлуатації машини: дія рухомих частин, ріжучого та абразивного інструменту, можливість падіння вантажу, руйнування каната, ураження електричним струмом, шум, вібрація та вплив виробничих відходів. Показано, що найбільший рівень безпеки досягається тоді, коли заходи ризикозниження закладаються вже на стадії проектування, а під час подальшої експлуатації підкріплюються технічними захисними засобами, інструктажем, контролем і плановим обслуговуванням.

Також встановлено, що за дотримання вимог пожежної безпеки та правил поводження з відходами, мастильними матеріалами і металевою стружкою розроблена машина не створює істотного негативного впливу на навколишнє середовище. Отже, запропонована конструкція є не лише технічно та економічно доцільною, а й такою, що може експлуатуватися за умови забезпечення належного рівня виробничої, пожежної та екологічної безпеки

ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі виконано розрахунок і проектування основних конструктивних елементів машини для переміщення вантажів на висоту канатного типу.

У процесі виконання роботи проаналізовано особливості машин для переміщення вантажів на висоту, умови їх експлуатації та основні конструктивні варіанти. Встановлено, що для детального інженерного опрацювання найбільш раціональною є схема з барабаном, канатом, поліспастром, редуктором, муфтою, підшипниковими опорами та гальмівним пристроєм.

Як об'єкт технологічного опрацювання обрано вал барабана, який належить до найбільш відповідальних деталей механізму. Обґрунтовано вибір сталі 45 як основного матеріалу та гарячекатаного круглого прокату як заготовки. Розроблено маршрут виготовлення деталі, який включає заготівельні, токарні, фрезерні, шліфувальні та контрольні операції. Визначено основні вимоги до точності, шорсткості поверхонь, базування заготовки, а також підібрано необхідне обладнання, інструмент і пристосування для виготовлення вала барабана.

У роботі виконано основні конструкторські розрахунки механізму підйому. Для розрахунку прийнято вантажопідйомність 5 т, висоту підйому 6 м, швидкість підйому 0,16 м/с та кратність поліспасти 2. У результаті встановлено, що вага вантажу становить 49,05 кН, а зусилля в канаті — 25,55 кН. Визначено швидкість намотування каната на барабан, частоту обертання барабана, статичну потужність приводу, а також обґрунтовано вибір електродвигуна потужністю 11 кВт, редуктора з передаточним числом 50 і гальмівного пристрою з моментом 160 Н·м.

Також визначено основні конструктивні параметри елементів механізму. Для проектування прийнято сталевий канат діаметром 15 мм. Розраховано геометричні параметри барабана, для якого прийнято діаметр 300 мм, довжину 340 мм і товщину стінки 16 мм. Установлено, що вал барабана діаметром 80 мм забезпечує необхідну міцність при сумісній дії крутного і згинального моментів.

Для опор вала обґрунтовано вибір стандартних підшипників із необхідною вантажопідйомністю.

Виконане економічне обґрунтування показало, що використання машини для переміщення вантажів на висоту є доцільним, оскільки дає змогу скоротити витрати ручної праці, зменшити тривалість виконання допоміжних операцій і підвищити продуктивність праці. Орієнтовна повна собівартість виготовлення машини становить 85 000 грн, а розрахунковий річний економічний ефект — 24 994 грн. Орієнтовний строк окупності становить близько 3,4 року, що підтверджує економічну доцільність впровадження запропонованої конструкції.

Визначено основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, серед яких рухомі частини обладнання, ріжучий інструмент, абразивний пилю, шум, вібрація, електричний струм, а також ризик падіння вантажу чи обриву каната. Запропоновано комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на зниження рівня виробничого ризику, покращення умов праці та забезпечення безпечної експлуатації механізму.