

**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: «Організація дрібносерійного виробництва букси та гайки клапану автоматичного затвору подачі пари»

КРЗ.133ГМбд\_21[1].06.00.00.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти  
за освітньо-професійною програмою  
«*Машини та обладнання*  
*сільськогосподарського виробництва*»  
спеціальності 133 «*Галузь*  
*машинобудування*»  
ступеня вищої освіти *бакалавр*  
групи 133ГМбд\_21[1]  
ІМАНОВ Мурат

Керівник: докт. техн. наук, доцент  
ВЕТУХІН Володимир

Полтава – 2022 року

## ВСТУП

Гідротермічна обробка сировини, зокрема зерна, – це обробка вологою і теплотою із метою спрямованої зміни властивостей. Гідротермічну обробку використовують в технології борошна, круп, комбікормів як обов'язкову, високоефективну технологічну операцію підготовки сировини до переробки. Такий вид обробки призначений для створення оптимальних умов вирішення головної задачі, що полягає у розподілі із максимальним рівнем ефективності на малозасвоєвані, малоцінні, грубі оболонки та ендосперм. Ендосперм зерна дає основну продукцію. Це борошно або крупа. Оболонки дають побічну продукцію технології – лузгу, висівки, мучку.

Машинобудування, як галузь промислового господарства, пропонує для гідротермічної обробки зерна зволожувачі, пропарювачі та сушилки [5-7, 13]. Застосування зазначеного обладнання позитивно впливає як на технологічні показники зерна, так і на органолептичні, харчові характеристики круп. Вони набувають рівного кольору, швидше розварюються до однорідної консистенції, краще зберігаються.

У даній кваліфікаційній роботі на розгляд винесено бічний клапан регулювання подачі пари саме при гідротермічній обробці зерна. Клапан призначений для регулювання подачі пари. Характеризується високою надійністю та швидкодією, зручністю, простотою конструкції.

Отже, **мета** роботи полягає у розробленні базових положень для підготовки виробництва із забезпечення потреб ринку. **Об'єктом** розробки є бічний клапан регулювання подачі пари при гідротермічній обробці зерна, а **предметом** – конструкторсько-технологічні аспекти забезпечення процесів виготовлення букси гайки регулювання клапана.

Для вирішення поставленої мети необхідно розв'язати наступні **задачі**:

- проаналізувати службове призначення вузла, здійснити аналіз точності, охарактеризувати конструкційні матеріали, що застосовуються для виготовлення

деталей, а також визначити тип виробництва на підставі річної програми запуску виробу;

- здійснити відпрацювання на технологічність вузла та його складових частин, проаналізувати діючі технологічні процеси, запропонувати маршрути обробки поверхонь, а також визначити припуски та операційні розміри розрахунково-аналітичним методом;

- сконструювати технологічне оснащення та здійснити його розрахунок;

- визначити економічну ефективність методу отримання заготовки букси клапана, здійснити інженерний розрахунок залишкового занулення, розглянути шумове забруднення навколишнього середовища;

- розробити комплект технічної документації для забезпечення потреб галузевого машинобудування.

## РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ

### 1.1 Службове призначення вузла, характеристика, опис

Клапани автоматичного затвору призначені для миттєвого вимкнення турбіни від паропроводу свіжої пари при аваріях, так як в цих випадках звичайні затворні клапани або засуви з ручним або електричним приводом мають велику інертність і тому не використовуються.

В якості регулювальних клапанів свіжої пари використовується односідельні клапани з розвантажувальним поршнем та дифузорним сідлом. Клапани цього типу відрізняються доброю щільністю, обтічністю, відривним зусиллям завдяки розвантаженню та значній пропускну здатності.

Клапан (рисунок 1.1) складається з напівсферичної чашки 21, в яку закручена гайка 17 з циліндричною розточкою у верхній частині, внутрішніми каналами та двома секторними шпонками. В розточку гайки входить розвантажувальний поршень – нерухома частина буси 18 з одягненими на неї двома поршневыми кільцями та з внутрішніми вирізами для шпонок. Шпонки запобігають обертанню клапана під дією парового потоку.

Для запобігання самовідкочування під час роботи турбіни чашки 21 та гайки 17 використовується спеціальна шайба з надрізами. Шайба закладається між чашкою 21 клапана та гайкою 17. Після тугого затягування з'єднання надрізи шайби загинаються в спеціальні шліци в чашці та гайці.

В нижній частині чашки є розвантажувальний отвір. В закритому положенні шпинделя спочатку відкривається розвантажувальний клапан, після упора якого в гайку 17 починає підійматися основний клапан. Коли основний та розвантажувальний клапани закриті, свіжа пара у внутрішню порожнину проникає тільки через зазори в поршневих кільцях, а також кільцевий зазор у шпинделі, куди свіжа пара проходить через канал в кришці парової коробки.

а)

б)

Рисунок 1.1 – Бічний клапан регулювання подачі пари при гідротермічній обробці зерна: а – колона, б – вузол регулювання

Положення клапана прикривається розвантажувальним клапаном 24, підвішеним за допомогою гайки 22 до кінця шпинделя 2. Розвантажувальний клапан законтрений на гайці за допомогою заклетки 23, що проходить із зазором

через шпindelь клапана, і має невеликий хід в середині чашки, обмежений її упором в гайку 17. При підйомі всередині створюється майже повний тиск свіжої пари, яким він притискується до сидла 21. Щільність посадки забезпечується сферичною формою чашки клапана та радіальним зазором між шпindelем та деталями клапана.

При підніманні розвантажувального клапана на величину його ходу тиск пари у всій внутрішній порожнині основного клапана знижується до величини тиску за клапаном, так як площа перерізу зазорів, через яке продовжує поступати свіжа пара, набагато менше розвантажувального отвору чашки клапана.

Мала величина відривного зусилля є однією з переваг клапанів даного типу. Надійна робота клапана залежить від стану поршневого ущільнення і відсутності зношування на поверхні посадки.

Технічна характеристика клапана наступна: тип клапана – бічний із розвантажувальним поршнем; різьба гайки – М36; довжина різьби – 140 мм; габаритні розміри – 1,62×0,935×0,3 м; маса – 310 кг.

Першою деталлю, що виноситься на розгляд у кваліфікаційній роботі буде бокса (рисунок 1.2), а другою – гайка регулювання клапана (рисунок 1.3).

Рисунок 1.2 – Бокса

Рисунок 1.3 – Гайка регулювання клапана

Робочі креслення деталей також відображено у графічній частині даної кваліфікаційної роботи.

## 1.2 Аналіз параметрів точності

Під час проведення аналізу параметрів точності деталі [17, 22, 47, 48] заповнюємо таблицю 1.1. У ній наведені дані про точність виготовлення та вимоги до точності форм поверхонь та їх відносного положення.

Задана деталь – букса (рисунок 1.4) має досить просту форму і за класифікацією відноситься до деталей «сировинні вали». Деталь має чотири поверхні високої точності (7-ий квалітет) та поверхню з кулачком (8-й квалітет). Всі поверхні виготовляються на верстаті із ЧПК: поверхні 2, 5, 9 шліфуються на круглошліфувальному верстаті. Торці вала фрезеруються на фрезерно-центрувальному верстаті в спеціальному пристосуванні.

За результатами проведення аналізу точності деталі заповнюємо таблицю 1.1.

Рисунок 1.4 – Букса

Таблиця 1.1 – Відомості щодо параметрів точності букси

№ пов.	Назва поверхні (елемента)	Розмір з відхиленням	Квалітет точності	Точність		Шорсткість Ra, мкм
				форми	Розташування	
1	2	3	4	5	6	
1	Торець	585 +0,09 -0,09	IT9/2	-	-	12,5
2	Циліндр	Ø80 -0,06 -0,106	e8	-	↑ 0,05 Ø70	1,6
3	Циліндр	Ø66,5 -0,06 -0,106	e8	-	↑ 0,05 Ø70	1,6
4	Циліндр	Ø34 +0,062 0	H9	-	-	3,2

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5	6	7
5	Циліндр	Ø70 +0,05 +0,02	n7	-	↑ 0,02 Ø28	1,6
6	Циліндр	Ø60 +0,037 -0,031	IT9/2	-	-	3,2
7	Циліндр	Ø32 +0,062 0	H9	-	-	6,3
8	Циліндр	Ø28 0,052	H9	0,045	-	2,5
9	Циліндр	Ø65 +0,041 +0,011	m7	-	↑ 0,02 Ø28	1,6

Виконавши аналіз параметрів точності можна зробити висновки. Шорсткість оброблених поверхонь відповідає вимогам точності. Найточніший розмір мають поверхні 5, 9 за 7-м квалітетом.

### 1.3 Характеристика матеріалу деталей, замітники

Деталі задані для проектування (букса та гайка регульовальна клапана) виготовлені зі сталі 15X11МФ (ДСТУ 4738:2007). Даний матеріал відноситься до легованих хромистих сталей, має досить високі механічні та фізичні властивості, непогану оброблюваність різанням, добре оброблюється тиском [7, 16, 36].

Малий коефіцієнт тертя та стійкість до зношування роблять цю сталь незамінною при виготовленні плунжерів, штоків, валів, шпинделів та інших деталей підвищеної міцності.

Хімічний склад та механічні властивості основного матеріалу та матеріалу-замінника наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Хімічний склад та механічні властивості матеріалів

Марки матеріалів	Хімічний склад, %									Механічні властивості		
	C	Si	Mn	Cr	S	P	Ti	Cu	Ni	$\sigma_s$ , МПа	$\delta$ , %	KCU, мДж/м <sup>2</sup>
Сталь 15X11МФ	0,11...0,15	0,17...0,37	0,5...0,8	0,8...1,1	0,025	≤0,03	≤0,2	0,3	1,1...1,25	≥980	≥10	≥33
Сталь 20X13	0,16-0,25	≤0,8	≤0,8	12-14	≤0,025	≤0,03	≤0,2	≤0,3	≤0,5	≥588	≥14	≥39

У разі необхідності можна замінити основний матеріал (сталь 15X11МФ) на матеріал замінник сталь 20X13.

#### 1.4 Визначення типу виробництва

Маркетингове дослідження показало потребу ринку в бічних клапанах регулювання подачі пари при гідротермічній обробці зерна у кількості 4000 штук на рік. Визначимо річну програму запуску виробів за формулою [28, 30, 35]:

$$N_{зан} = (N_{вип} + N_{зч}) \cdot (1 + k_{бр}), \quad (1.1)$$

де  $N_{вип}$  – річна програма випуску виробів, шт.;

$N_{зч}$  – кількість виробів, що йдуть на запчастини, приймаємо рівною 3-5% від програми випуску, тис. од.;

$k_{бр}$  – коефіцієнт, що враховує технологічні витрати, які неможливо уникнути. Приймаємо рівним 2-3% від сумарної кількості виробів, що формують програму випуску та які йдуть на запчастини.

$$N_{\text{звм}} = (4000 + 0,04 \cdot 4000) \cdot (1 + 0,025) = 4264 \text{ (шт.)}.$$

Максимальна маса оброблених заготовок деталей бічного клапана не перевищує 200 кг, тому за [35] визначаємо тип виробництва – дрібносерійний.

## РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ

### 2.1 Аналіз технологічності вузла та деталей

Конструкція машини, деталі, вузла є технологічною, якщо вона відповідає усім технічним та експлуатаційним вимогам, коли на її виготовлення та обслуговування витрачається мінімальна кількість суспільної праці [2].

В умовах дрібносерійного виробництва вимоги до технологічності базуються на таких принципах, як досягнення мінімальної кількості операційних переходів, максимальної концентрації переходів, що призводить до зменшення номенклатури дорогого обладнання. Всі ці фактори мають суттєвий вплив на собівартість виготовлення деталей та заготовок.

Основні вимоги до технологічності букси, зображеної на рисунку 1.2, наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Аналіз технологічності букси

№ з.п.	Показники технологічності	Висновки за показниками технологічності	Дії щодо поліпшення технологічності
1	2	3	4
1	Наявність зручних технологічних баз, що забезпечують жорстке і надійне закріплення заготовки, вільне підведення різального інструменту	Так, технологічно	При обробці деталь базується центровими отворами та торцем.

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4
2	Чи потрібні додаткові ребра жорсткості?	Ні, технологічно	-
3	Наявність глухих отворів	Ні, технологічно	-
4	Наявність отворів глибиною більше 8d?	Ні, нетехнологічно	Бажано уникати глибоких отворів, а якщо це неможливо то обробку виконують за два установи
5	Чи можлива багатшпиндельна та багато інструментальна обробка?	Так, технологічно	-
6	Чи є внутрішні торці, які необхідно обробити?	Так, нетехнологічно	Поверхні є, але невисокої точності
7	Чи є скоси або пази під кутом відмінним від 45°?	Ні, технологічно	-
8	Чи є отвори не перпендикулярні поверхні?	Ні, технологічно	-
9	Чи є різьби менше М6?	Ні, технологічно	-
10	Чи від однієї бази проставлені розміри?	Так, технологічно	-

На підставі аналізу таблиці 2.1 можемо стверджувати, що букса бічного клапана є технологічною за більшістю показників.

Основні вимоги до технологічності гайки регулювальної, зображеної на рисунку 1.3 наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Аналіз технологічності гайки регулювальної

№ з.п.	Показники технологічності	Висновки за показниками технологічності	Дії щодо поліпшення технологічності
1	2	3	4
1	Наявність зручних баз, що забезпечує необхідну орієнтацію та надійне закріплення заготовки	Так, технологічно	При обробці деталей закріплюється в патроні без заднього центра
2	Чи потрібні додаткові ребра жорсткості?	Ні, технологічно.	
3	Наявність глухих отворів	Ні, технологічно	
4	Наявність отворів глибиною більше $8d$ ?	Ні, технологічно	Бажано уникати глибоких отворів, якщо це неможливо то обробку виконують за два установи
5	Чи можлива багатошпindelна та багатоінструментальна обробка?	Ні, не технологічно	Габарити деталі не дозволяють проводити багатоінструментальну обробку

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4
6	Чи є внутрішні горці, які необхідно обробити?	Так, не технологічно	Поверхні є, але невисокої точності
7	Чи є скоси або пази під кутом змінним від 45°?	Ні, технологічно	-
8	Чи є отвори не перпендикулярні поверхні?	Ні, технологічно	-
9	Чи є різьби менше М6?	Ні, технологічно	-
10	Чи від однієї бази представлені розміри?	Так, технологічно	-

На підставі аналізу таблиці 2.2 можна стверджувати, що гайка регулювання клапана є технологічною за більшістю показників.

## 2.2 Аналіз діючих технологічних процесів виготовлення

При виготовленні букси у якості заготовок використовується прокат. Застосування універсальних верстатів дозволяє використовувати звичайний інструмент, а застосування верстатів із ЧПК дозволяє швидко перенастроювати верстати на виготовлення інших деталей.

При виготовленні гайки регулювання клапана у якості заготовок також використовується прокат. Так само, як і для букси, застосування універсальних верстатів дозволяє використовувати звичайний інструмент, а застосування

верстатів з ЧПК дозволяє швидко переналагоджувати верстати на виготовлення інших деталей.

### 2.3 Маршрути обробки поверхонь

Різні поверхні деталі виконують різні функції, тому вимоги до них найрізноманітніші: за точністю, шорсткістю та ін. Забезпечуються ці вимоги використанням різних технологічних методів обробки. Створюючи маршрут обробки поверхонь, необхідно виходити з того, що кожен наступний метод повинен бути більш точним, ніж попередній [48].

Кількість ступенів обробки визначається за формулою

$$\varepsilon = \frac{T_3}{T_d} = \frac{T_3}{T_1} \cdot \frac{T_1}{T_2} \cdot \dots \cdot \frac{T_{i-1}}{T_d}, \quad (2.3)$$

де  $\varepsilon$  – загальне значення;

$T_3, T_d, T_i$  – відповідно допуски для заготовки, деталі, окремого ступеня обробки.

При розрахунку необхідно враховувати рекомендації: для першого ступеня чорнкової обробки  $\varepsilon < 6$ , для проміжних ступенів напівчистої обробки  $\varepsilon = 3 \dots 4$ ; для ступенів чистої обробки  $\varepsilon = 1,5 \dots 2$ .

Для визначення приблизного вибору числа ступенів обробки необхідно застосувати формулу

$$n_p = \frac{\lg(\varepsilon)}{0,46}. \quad (2.4)$$

Можливі варіанти обробки букси подано в таблиці 2.3.

Орієнтуючись на маршрути обробки деталі, необхідно зменшувати номенклатуру різального інструменту та верстатного обладнання.

Таблиця 2.3 – Можливі варіанти обробки букси

Позначення поверхні	Квалітет точності	Допуск за кресленням, мкм	Шорсткість за кресленням, R <sub>a</sub> , мкм	Допуск заготовки, мкм	Загальне уточнення	Квалітет заготовки	Можливі маршрути обробки		Квалітет після обробки	Досягнений допуск, мкм	Коефіцієнт уточнення	Загальне уточнення
							№ переходу	Перехід МОП				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2	8	54	2,5	870	16,1	14	1	Обточування попереднє	11	220	3,95	15,9
							2	Обточування чистове	9	87	2,58	
							3	Шліфування одноразове	8	54	2,38	
3	8	46	2,5	740	16,1	14	1	Обточування попереднє	11	190	3,89	16,1
							2	Обточування чистове	9	74	2,57	
							3	Шліфування одноразове	8	46	1,61	
4	8	46	2,5	130	2,8	10	1	Довбання попереднє	9	74	1,76	2,8
							2	Довбання чистове	8	46	1,61	

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
5, 9	7	30	0,25	740	24,6	14	1	Обточування попереднє	11	190	3,89	25,59
							2	Обточування чистове	9	74	3,34	
							3	Шліфування одноразове	7	30	1,87	
6	9	74	2,5	190	2,5	11	1	Точіння чорнове	10	130	1,7	2,63
							2	Точіння чистове	9	74	1,5	
7	12	210	12,6	520	2,47	14	1	Свердління	12	210	2,47	2,47
8	9	52	2,5	520	10	14	1	Свердління	12	210	2,48	9,87
							2	Розточування попереднє	10	90	2,3	
							3	Розточування чистове	9	52	1,73	
10	10	110	6,3	52	2,2	9	1	Розточування попереднє	10	110	2,2	2,2

#### 2.4 Визначення припусків на обробку та операційних розмірів

Визначення припусків розрахунково-аналітичним методом здійснюється для однієї найбільш точної поверхні за [37-39]. В нашому випадку для  $\varnothing 65m7$  букси.

При розрахунково-аналітичному методі користуються спеціальною розрахунковою картою. Приклад розрахунку припусків із використанням розрахункової карти наведено в таблиці 2.4.

Розрахунковий припуск для поверхонь обертання обчислюється за формулою:

$$Z_{i\min} = 2(R_{Z_{i-1}} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{yi}}), \quad (2.5)$$

де  $R_{Z_{i-1}}$  – висота мікронерівностей;

$T_{i-1}$  – глибина дефектного шару;

$\rho_{i-1}$  – сумарне значення просторових відхилень;

$\varepsilon_{yi}$  – похибка встановлення на переході, що виконується.

Таблиця 2.4 – Розрахункова карта припусків і граничних розмірів по технологічних переходах при обробці зовнішньої циліндричної поверхні  $\varnothing 65\text{m}7$

Технологічні переходи	Величини, що визначають $Z_{\min}$ , МКМ				$Z_{\min}$ , МКМ	$d_{\min}$ , ММ	$\delta$ , МКМ	Граничні розміри		Граничні значення припусків	
	$R_z$	$\Gamma$	$\rho$	$E_y$				$d_{\min}$	$d_{\max}$	$2Z_{\min}$	$2Z_{\max}$
								ММ	ММ	ММ	ММ
Заготівка	80	300	81,9	0	-	66,126	2900	66,126	69,026	-	-
Чорнове обточування	50	50	40,95	0,15	778,1	65,347	460	65,347	65,806	0,779	3,22
Чистове обточування	30	30	3,276	0,05	212,82	65,135	110	65,135	65,245	0,212	0,561
Шліфування одноразове	10	20	1,638	0,25	123,65	65,011	45	65,011	65,056	0,124	0,189
Усього:										1,115	3,97

Правильність розрахунків перевіряємо за формулою:

$$\Sigma 2Z_{\max} - \Sigma 2Z_{\min} = \delta_{\text{зар}} - \delta_{\text{дет}}, \quad (2.6)$$

де  $\delta_{\text{заг}}$  та  $\delta_{\text{дет}}$  – допуски заготовки та деталі відповідно.

Отже,

$$3,97 - 1,115 = 2,9 - 0,045;$$

$$2,855 = 2,855.$$

Розраховані таким чином припуски на обробку зручно зобразити графічно на рисунку 2.1.

Рисунок 2.1 – Припуски на обробку зовнішньої циліндричної поверхні букси

На решту поверхонь деталі припуски призначаються за довідниковими таблицями [37-39].

## РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ

### 3.1 Розробка конструкції затискного пристосування

Пристосування затискне, зображене на рисунку 3.1, розроблено для однієї з операцій механічної обробки букси [3, 11, 14, 25, 26, 41].

Рисунок 3.1 – Пристосування затискне

Пристосування містить: 1 – плита; 2 – призма; 3 – гвинт ходовий; 4 – колесо зубчасте; 5 – повзун; 6 – пневмоциліндр; 7 – шток; 8 – кришка корпусу; 9 – кришка гвинта; 10 – кришка підшипника; 11 – упор; 12 – шпонка; 13 – шпонка; 14 – болт; 15 – шайба; 16 – підшипник.

На опорній плиті 1 розташовані самоцентруючі лещата з приводом у вигляді пневмоциліндра 6. При подачі стиснутого повітря відбувається рух штоку циліндра 7, що має зубчасту рейку, sprzęжену із зубчатим колесом 4, яке в свою чергу з'єднане з ходовим гвинтом 3 шпонкою 12. При обертанні ходового гвинта 3 відбувається рух призм 2 по правій та лівій його різі. Заготовка фіксується у пристосуванні зовнішньою циліндричною поверхнею та торцем.

### 3.2 Визначення зусилля затиску та сили різання

Заготовка закріплюється в призмах при свердлінні отвору  $\varnothing 20$  на глибину 65 мм. При обробці виникає момент  $M_p$  та осьова сила  $P_0$ . Моменту сил різання протидіють сили тертя, що виникають на поверхні контакту заготовки з робочими поверхнями призми. Рівняння рівноваги заготовки має вигляд [14, 41]:

$$K \times M_p = M_{\text{терт.ц}} \quad (3.1)$$

де  $M_{\text{терт.ц}}$  – момент сил тертя по циліндричній поверхні [14]:

$$M_{\text{терт.ц}} = \frac{2 \cdot W \cdot D \cdot f}{\sin \alpha} = 0,15 \cdot W ; \quad (3.2)$$

де  $D$  – діаметр заготовки у місці закріплення;

$f$  – коефіцієнт тертя;

$\alpha$  – кут базуючих призм;

К – коефіцієнт запасу [41]:

$$K=K_0 \times K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 \times K_5 \times K_6, \quad (3.3)$$

де  $K_0$  – коефіцієнт гарантованого запасу;

$K_1$  – коефіцієнт, що враховує зростання сил різання;

$K_2$  – коефіцієнт, що враховує затуплення інструменту;

$K_3$  – коефіцієнт, що враховує зростання сил різання при перервному різанні;

$K_4$  – коефіцієнт, що враховує постійність сил загиску;

$K_5$  – коефіцієнт, що враховує ергономічність механізмів;

$K_6$  – коефіцієнт, що враховує прерв'язання заготовки.

Тоді

$$K=1,5 \times 1,2 \times 1,2 \times 1,5 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0=3,24.$$

Момент різання при свердлінні [9, 11, 15]:

$$M_p = 10 \cdot C_m \cdot D^q \cdot S^y \cdot k_p; \quad (3.4)$$

де  $D$  – діаметр свердла, 20 мм (за умовою);

$C_m, q, y, k_p$  – коефіцієнти [37],

$S$  – величина подачі, 0,08 мм/об [38].

Отже, підставивши значення у (3.4) маємо

$$M_p = 10 \cdot 0,041 \cdot 20^2 \cdot 0,08^{0,7} \cdot 1 = 27,9 \text{ (Н}\cdot\text{м)}.$$

Підставимо отримані результати у вираз (3.1)

$$3,24 \times 27,9 = 0,15 \cdot W \quad (3.5)$$

Із формули (3.5) визначимо величину зусилля затиску:

$$W = \frac{3,24 \cdot 27,9}{0,15} = 602,6 \text{ (Н)}.$$

Визначимо діаметр пневматичного циліндра за виразом:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot W}{\pi \cdot p \cdot \eta}} \quad (3.6)$$

де  $W$  – зусилля затиску;

$p$  – значення тиску в магістралі;

$\eta$  – ККД приводу;

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 602,6}{\pi \cdot 0,6 \cdot 0,9}} = 37,7 \text{ (мм)}.$$

Зі стандартного ряду вибираємо циліндр діаметром 40 мм.

### 3.3 Розрахунок на міцність

На наш погляд слабкою ланкою в затискному пристосуванні є різьба на ходовому гвинті діаметром 50 мм. Здійснимо розрахунок на міцність та зносостійкість відповідно до [14, 37, 38].

Кут підйому гвинтової лінії різьби та ККД передачі:

$$\tan \beta = \frac{S}{\pi d_2}; \quad (3.7)$$

де  $S$  – хід гвинтової лінії, 32 мм;

$d_2$  – середній діаметр різьби, 46,5 мм;

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{32}{\pi \cdot 46,5} = 0,22;$$

$$\eta = \frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg}(\beta + \rho)}; \quad (3.8)$$

де  $\rho$  – кут тертя,  $6 \dots 8^\circ$ ;

$$\eta = \frac{0,22}{\operatorname{tg}(12,41^\circ + 7^\circ)} = 0,32.$$

Допустиме напруження в матеріалі гвинта, МПа:

$$[\sigma_s] = \frac{\sigma_m}{3 \dots 3,5}, \quad (3.9)$$

де  $\sigma_m$  – межа текучості матеріалу гвинта (18ХГТ), 885 МПа;

$$[\sigma_s] = \frac{885}{3,25} = 272 \text{ (МПа)}$$

Розрахунок ва площі перерізу гвинта:

$$F = 0,785 d_1^2; \quad (3.10)$$

де  $d_1$  – внутрішній діаметр гвинта, 42 мм;

$$F = 0,785 \cdot (42 \cdot 10^{-3})^2 = 0,0014 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Приведене напруження гвинта:

$$\sigma_{np} = \frac{W}{F} \sqrt{1 + 1,6 \left( \frac{S}{\eta \cdot d_1} \right)^2}; \quad (3.11)$$

де  $W$  – зусилля загибки;

$$\sigma_{np} = \frac{602,6}{0,0014} \sqrt{1 + 1,6 \left( \frac{32 \cdot 10^{-3}}{0,62 \cdot 42 \cdot 10^{-3}} \right)^2} = 741313,2 \text{ (Па)}.$$

Перевірка показує, що  $\sigma_{np} < [\sigma_6]$  тобто  $0,7 \text{ МПа} < 272 \text{ МПа}$ , а це означає, що водний гвинт відповідає умові міцності.

Робоча висота витка різьби

$$t_2 = \frac{d - d_1}{2}; \quad (3.12)$$

$$t_2 = \frac{50 - 42}{2} = 4 \text{ (мм)}$$

Середній тиск на робочих поверхнях різьби

$$q = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{W \cdot S}{l \cdot z \cdot d_2 \cdot t_2}; \quad (3.13)$$

де  $l$  – довжина гайки, маємо 2 гайки по 86 мм;

$z$  – число заходів різьби, 4;

$$q = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{602,6 \cdot 34 \cdot 10^{-3}}{(2 \cdot 86) \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 46,5 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 10^{-3}} = 0,1 \cdot 10^6 \text{ (Па)}.$$

Умова зносостійкості виконується, тому що діючий тиск в 0,1 МПа на робочих поверхнях різьби не перевищує допустиме значення 2 МПа.

## РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІКА, ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

### 4.1 Техніко-економічне обґрунтування виробництва заготовки деталі

Порівняємо вартість виготовлення заготовок букси, що отримані різними технологічними методами [8, 31, 49].

Деталь виготовлена зі сталі 15Х11МФ, яка досить добре штампується та кується. Заготовка відноситься до поковок І-ї групи складності, яку штамнують на молотах або пресах. Для порівняння виберемо два методи виготовлення заготовок: прокат; штампування.

Штаповані поковки виконуються за допомогою підкладних та стаціонарно закріплених до бойків молота штампів за 3... 5 ударів. Штампування на молотах дає змогу регулювати енергію ударів та їх частоту, деформацію матеріалу в кожному окремому рівчаку, таким чином забезпечуючи сприятливі умови заповнення порожнин штампа, високі швидкості деформації та ін. Недоліком є низький коефіцієнт корисної дії, низька продуктивність, складність автоматизації виробництва.

Процес виготовлення деталей з прокату прийнятний лише для умов дрібно, та середньосерійного виробництва. Недолік цього методу – досить низький коефіцієнт використання металу. Цим методом виготовляють прості за формою заготовки. Оскільки при виготовленні заготовки методом штампування неможливо отримати внутрішній циліндричний отвір, то коефіцієнт використання металу необхідно зменшувати з 0,7 до 0,5. При отриманні заготовки методом штампування маса заготовки становить:

$$Q_3 = q_d / K_{BM}, \quad (4.1)$$

де  $q_d$  – маса деталі, 12,5 кг;

$K_{\text{вм}}$  – коефіцієнт використання матеріалу, 0,5;

$$Q_3 = 12,5/0,5 = 25 \text{ (кг)}.$$

При отриманні заготовки з прокату її маса становитиме (за максимальним діаметром 82 мм).

$$Q_{\text{заг}} = (\pi \cdot d^2) / 4 \times H \times \rho; \quad (4.2)$$

$$Q_{\text{заг}} = (\pi \times (82 \times 10^{-3})^2) / 4 \times 0,59 \times 7850 = 24,4 \text{ (кг)};$$

де  $m_d$  – маса деталі;

$k_i$  – коефіцієнт використання матеріалу;

$d$  – діаметр заготовки;

$H$  – довжина заготовки;

$\rho$  – щільність матеріалу заготовки.

Вартість заготовки, отриманої штампуванням та з прокату визначимо за формулою [7]:

$$S_{\text{заг}} = \left( \frac{C_i}{1000} \cdot Q_{\text{заг}} \cdot K_T \cdot K_{II} \cdot K_3 \cdot K_C \cdot K_M \right) - (Q - q) \frac{S_{\text{вкл}}}{1000} \quad (4.3)$$

де  $C_i$  – базова вартість тонни заготовок [1];

$Q_{\text{заг}}$  – маса заготовки;

$K_T$  – коефіцієнт точності;

$K_{II}$  – коефіцієнт програми випуску;

$K_B$  – коефіцієнт маси виливка;

$K_C$  – коефіцієнт складності;

$K_M$  – коефіцієнт матеріалу.

$q$  – маса деталі;

$S_{відх}$  – вартість стружки [1];

$$S_{заг}^{sum} = \left( \frac{90000}{1000} \cdot 25 \cdot 1,1 \cdot 1,2 \cdot 1,23 \cdot 1,15 \cdot 1,1 \right) - (25 - 12,5) \frac{8500}{1000} = 4515 \text{ (грн.)};$$

$$S_{заг}^{np} = \left( \frac{90000}{1000} \cdot 24,4 \cdot 1,15 \cdot 1,14 \cdot 1,23 \cdot 1,09 \cdot 1,04 \right) - (24,4 - 12,5) \frac{8500}{1000} = 3913 \text{ (грн.)}.$$

В результаті розрахунків видно, що в умовах дрібносерійного виробництва доцільніше використовувати виготовлення заготовки букси із сортового прокату.

Економічний ефект в цьому випадку буде становити для корпусу:

$$E = (4515 - 3913) \cdot 4000 = 2408000 \text{ грн.}$$

Отже, для виготовлення букси обираємо прокат.

#### 4.2 Розрахунок занулення

Занулення – усунення небезпеки ураження електричним струмом у випадку торкання до металевих неструмопровідних частин (корпус обладнання), що опиняються під напругою. Принцип дії полягає в автоматичному відключенні пошкодженої ділянки і одночасно у зниженні напруги дотику на корпусі обладнання, на час поки не спрацює максимальний струмовий захист або автоматичне вимкнення [4, 10, 12, 18-21, 23, 24, 27, 29, 32, 40, 42-46, 50].

Розрахуємо систему захисного занулення для трифазної лінії напругою 380В/220В, що живить електродвигун, за допомогою живильного трансформатора 400 кВА, потужність електродвигуна 10 кВт, метал провідників – мідь, довжина лінії 100 м, ККД електродвигуна 85%, коефіцієнт потужності 0,86, опір основного заземлювача 4 Ом.

1 Розраховуємо номінальний струм електродвигуна, А:

$$I_{ел.дв}^н = \frac{P \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi}, \quad (4.4)$$

де  $P$  – номінальна потужність електродвигуна, кВт;

$U_H$  – номінальна напруга, В;

$\cos \varphi$  – коефіцієнт потужності.

$$I_{ел.дв}^н = \frac{10 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,9} = 16,9 \text{ (А)}.$$

2 Розраховуємо пусковий струм електродвигуна, А:

$$I_{ел.дв}^{пус} = I_{ел.дв}^н \cdot \beta, \quad (4.5)$$

де  $I_{ел.дв}^н$  – номінальний робочий струм електродвигуна, А;

$\beta$  – коефіцієнт перевантаження, 5...8.

$$I_{ел.дв}^{пус} = 16,9 \cdot 7 = 118,3 \text{ (А)}.$$

3 Плавкі вставки запобіжників підбираємо за розрахунковим значенням номінального струму  $I_{пл.вс}$ . При цьому повинна виконуватися умова (4.4). Значення номінального струму визначають за виразом:

$$I_{пл.вс}^н = I_{ел.дв}^{пус} / \alpha, \quad (4.6)$$

де  $I_{ел.дв}^{пус}$  – пусковий струм електродвигуна, А;

$\alpha$  – коефіцієнт режиму роботи, 2.

$$I_{пл.ес}^n = 118,3 / 2 = 59,15 \text{ (A)}.$$

Обираємо тип запобіжника ПН2-100 із номінальним струмом плавкої вставки 60 А [10].

4 Розраховуємо орієнтовний переріз фазних проводів:

$$s_{\phi} = I_{ед} / j, \quad (4.7)$$

де  $j = 3 \text{ А/мм}^2$  для алюмінієвих дротів

$$s_{\phi} = 118,3 / 3 = 39,76 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

Обираємо з ряду стандартних перерізів фазних дротів [10] значення 50 мм<sup>2</sup>.

5 Переріз нульового провідника та його матеріал обираються з умови, щоб повна провідність нульового дроту була не менше 50% повної провідності фазного дроту, тобто виконувалася умова

$$\frac{1}{(R_n + X_n)} \geq 2 \frac{1}{(R_{\phi} + X_{\phi})} \quad (4.8)$$

6 Розраховуємо активний опір фазних та нульового дротів, Ом.

$$R_{\phi} = \frac{\rho \cdot L_{\phi}}{s_{\phi}}; \quad (4.9)$$

$$R_n = \frac{\rho \cdot L_n}{s_n}; \quad (4.10)$$

де  $\rho$  – питомий опір провідника, для міді  $0,018 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ ;

$L$  – довжина провідника, м;

$s$  – переріз  $\text{мм}^2$

$$R_\phi = \frac{0,018 \cdot 100}{50} = 0,036 \text{ (Ом)}.$$

Переріз нульового провідника та його матеріал обираємо з умови, щоб повна провідність нульового дроту була не менше 50% повної провідності фазного дроту, тобто виконувалася умова

$$\frac{1}{(R_n + X_n)} \geq \frac{1}{2(R_\phi + X_\phi)}. \quad (4.11)$$

Значення індуктивних опорів  $X_\phi$  та  $X_n$  для мідних та алюмінієвих дротів магі як правило, під час розрахунків ними нехтують. Тобто (4.11) набуде виду

$$\frac{1}{R_n} \geq \frac{1}{2R_\phi}. \quad (4.12)$$

Звідки

$$R_n = 2R_\phi, \quad (4.13)$$

$$R_n = 2 \cdot 0,036 = 0,072 \text{ (Ом)}.$$

Переріз нульового провідника:

$$S_n = \frac{\rho \cdot L_n}{R_n}, \quad (4.14)$$

$$S_n = \frac{0,018 \cdot 100}{0,072} = 25 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

Обираємо з ряду стандартних перерізів нульових дротів [10] значення 25 мм<sup>2</sup>.

7 Зовнішній індуктивний опір 1 км петлі «фаза-нуль» приймаємо за [10]  $X_n = 0,6 \text{ Ом/км}$ . З урахуванням нашого значення довжини лінії маємо

$$X_n = 0,6 \cdot L, \quad (4.15)$$

$$X_n = 0,6 \cdot 0,1 = 0,06 \text{ (Ом)}.$$

8 Повний опір петлі «фаза-нуль».

$$Z_n = \left[ (R_\phi + R_n)^2 + X_n^2 \right]^{0,5}, \quad (4.16)$$

$$Z_n = \left[ (0,036 + 0,072)^2 + 0,06^2 \right]^{0,5} = 0,124 \text{ (Ом)}.$$

9 Струм короткого замикання на корпус.

$$I_{к.з} = \frac{U_\phi}{Z_m / 3 + Z_n}, \quad (4.17)$$

де  $Z_{mp}/3$  – значення розрахункових повних опорів обмоток масляних трифазних трансформаторів, поєднаних за схемою  $\Delta/Y$ . У нашому випадку для трансформатора 400 кВА  $\approx 0,056$  [10].

$$I_{к.з} = \frac{380}{0,056 + 0,124} = 2111,1 \text{ (А)}.$$

10 Перевірка надійності вимикаючої здатності:

$$I_{к.з} \geq k \cdot I_{н.ел.об.} \quad (4.18)$$

де  $k$  – коефіцієнт кратності номінального струму, що дорівнює 3 при захисті запобіжниками або автоматами, що мають тепловий розщеплювач із оберненою від струму характеристикою [10].

$$2111,1 > 3 \cdot 16,9;$$

$$2111,1 > 50,7.$$

Умова надійності вимикаючої здатності забезпечена.

#### 4.3 Шумове забруднення навколишнього середовища

Небажаний шум або «шумове забруднення» являє собою справжню загрозу здоров'ю та благополуччю людини. Шум здатен викликати порушення сну, підвищене серцебиття та артеріальний тиск, впливати на моторику та когнітивні функції людини. Щорічно в Європі внаслідок шумової взаємодії щорічно помирає 10000 осіб. Соціальні витрати у зв'язку із шумовим забрудненням у Європі складають 52 млрд. доларів США щорічно. Враховуючи усе вищезазначене, нами

пропонується наступне. Рівні шуму у нічний час не повинні перевищувати 40 дБ, а у денний час – 65 дБ. Для контролю за рівнем шуму пропонується використовувати спеціалізовані додатки на смартфонах, наприклад Android-додаток «Шумомір» (рисунки 4.1).

Рисунок 4.1 – Загальний вигляд Android-додатку «Шумомір»

Даний додаток надасть можливість кожному користувачеві без особливих спеціальних навичок визначити рівень шумового навантаження, що виникає під час роботи бічного клапану регулювання подачі пари при гідротермічній обробці зерна, порівняти із допустимими нормативними значеннями, вжити заходів щодо зниження шуму, зберегти кошти, або навіть людське життя.

## ВИСНОВКИ

Отже, відповідно до отриманого завдання на кваліфікаційну роботу здобувача вищої освіти та за результатами її виконання зроблено наступні висновки.

1 Визначено службове призначення вузла бічного клапана регулювання подачі пари, що застосовується при гідротермічній обробці зерна. Наведено його технічну характеристику, складові частини. Проведено аналіз точності деталі клапана, а саме букси. Охарактеризовано конструкційний матеріал деталей вузла (букса, гайка), надано рекомендації стосовно їх аналогів. Здійснено визначення типу виробництва на підставі маркетингового дослідження – дрібносерійний.

2 Відпрацьовано на технологічність вузол та його деталі. Проаналізовано діючі технологічні процеси виготовлення букси та гайки. Розроблено маршрут обробки поверхонь букси. Здійснено визначення припусків на обробку та операційних розмірів для  $\varnothing 65_{m7}$  мм букси розрахунково-аналітичним методом.

3 Запропоновано конструкцію пневматичного пристосування для закріплення букси під час механічної обробки букси. Визначено зусилля затиску деталі, а також розраховано на міцність різьбу ходового гвинта.

4 Здійснено технічне економічне обґрунтування виробництва заготовки букси бічного клапана. Річний економічний ефект для програми випуску 4000 шт. склав 2408000 грн. Розраховано захисне занулення для захисту від ураження людини у випадку торкання до металевих неструмопровідних частин електричної мережі під час виготовлення клапана бічного. Розглянуто шумове забруднення навколишнього середовища, запропоновано нормативні значення шуму, засоби контролю.

5 У графічній частині роботи наведено складальне креслення клапана бічного регулювання подачі пари, робочі креслення букси та гайки регулювання клапана, а також складальне креслення затискного пристосування.