

Хмельницький національний університет  
Факультет Інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра галузевого машинобудування та агроінженерії

## ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ

Бакалавр

Рівень вищої освіти

Проектування енергетичного засобу для потреб свиноферми

Назва теми

Галузь знань – 20 «Аграрні науки та продовольство»

Спеціальність – 208 «Агроінженерія»

Освітньо-професійна програма «Агроінженерія»

Шифр \_\_\_\_\_

Виконав студент 4 курсу, група АІ-18-1, \_\_\_\_\_ Масленніков

Підпис

Прізвище

Керівник від кафедри

Нормоконтролер

Курской В.С., доц., к.т.н.

Лук'янюк М. В., доц., к.т.н.

Прізвище, ініціали, посада, науковий  
ступінь

Прізвище, ініціали, посада, науковий  
ступінь

Підпис

Підпис

До захисту допускаю: зав. кафедрою \_\_\_\_\_ Мартинюк А.В.

Підпис

Прізвище

Хмельницький національний університет  
Факультет Інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра галузевого машинобудування та агроінженерії

Рівень вищої освіти – *бакалавр*

Галузь знань – *20 «Аграрні науки та продовольство»*

Спеціальність – *208 «Агроінженерія»*

Освітня програма – *«Агроінженерія»*

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_.\_\_\_\_\_.2022

**ЗАВДАННЯ  
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ**

\_\_\_\_\_ Масленніков Владислав Миколайович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1 Тема проєкту *Проектування енергетичного засобу для потреб  
свиноферми.*

Керівник проєкту Курской Володимир Сергійович, к.т.н.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від \_\_\_\_\_ 2022 р.

№ \_\_\_\_\_

2 Термін подання студентом проєкту (роботи) на кафедру \_\_\_\_\_

3 Вихідні дані до проєкту (роботи) \_\_\_\_\_

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)\_\_\_\_

5 Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)\_\_\_\_

6 Консультанти розділів дипломного проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7 Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапу (розділу) дипломного проєкту (роботи)	Термін виконання етапу проєкту (роботи)	Примітка
1		
2		
3		
...		


Студент \_\_\_\_\_

Підпис

Ініціали, прізвище

Керівник проєкту (роботи) \_\_\_\_\_

Підпис Ініціали, прізвище

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	6
1. ТЕХНОЛОГІЯ І МЕХАНІЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ СВИНОВІДГОДІВЕЛЬНОЇ ФЕРМИ .....	8
2. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МОДУЛЯ .....	27
3. ОХОРОНА ПРАЦІ .....	57
ВИСНОВКИ.....	60
ЛІТЕРАТУРА .....	61

					<i>ДП АІ 22.09.00.00 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Масленніков</i>			Проектування енергетичного засобу для потреб свиноферми.	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Курской</i>				5	60	
<i>Реценз.</i>						<i>АІ-18-1</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>								

## ВСТУП

Ферма – сільськогосподарське підприємство, з основними та допоміжними спорудами та спорудами, призначеними для вирощування тварин та отримання кінцевих продуктів. Свинарство - одна з важливих галузей тваринництва. Подальше зростання поголів'я свиней та підвищення їхньої продуктивності дозволять у короткий термін значно збільшити виробництво свинини в країні. У багатьох областях на частку свинини припадає 40 — 50 % загального виробництва м'яса.

В даний час тваринництво в фермерських господарствах набуло нових рис, що характеризують більш високий рівень його розвитку. Завдяки поглибленню спеціалізації та зростаючій концентрації виробництва стало можливим вести комплексне будівництво тваринницьких ферм та широко впроваджувати механізацію праці. Якщо раніше при екстенсивному веденні тваринництва рівень розвитку його обумовлювався забезпеченістю кормами, то нині при інтенсифікації галузі не можна не враховувати такі важливі фактори, як забезпеченість тварин добротними приміщеннями та обладнанням. Для тваринницьких ферм Від правильного вибору проектів, систем механізації залежать створення необхідних умов праці, висока продуктивність тварин, зниження собівартості продукції та підвищення її якості.

Отже, зараз з особливою гостротою стоять питання оптимального планування, будівництва та забезпечення обладнання тваринницьких ферм. За останні роки відбулися суттєві зміни у будівництві тваринницьких споруд. Так існує тенденція до того, що тепер тепер будуються не окремі тваринницькі приміщення, а комплекси великих ферм, які розраховані на впровадження повної механізації виробничих процесів. Перевага великих, забезпечених обладнанням для тваринницьких ферм не тільки в їхній високій економічній ефективності, але при цьому якісно змінюється характер праці

										ДП АІ 22.09.00.00 ПЗ	Арк.
											6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

працівників тваринництва, значно підвищується культура виробництва. Правильно реалізована механізація свиноферми дозволяє мінімізувати ручну працю, а отже – зменшити необхідний штат працівників та збільшити рентабельність виробництва. Як відомо – більшість засобів механізації є технологічними модулями, які агрегуються з енергетичним. Саме використання ефективного енергетичного модуля дозволяє знизити витрати на виробництво. Метою роботи є розробка основних параметрів трактора для потреб свиноферми.

					ДП АІ 22.09.00.00 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1. ТЕХНОЛОГІЯ І МЕХАНІЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ СВИНОВІДГОДІВЕЛЬНОЇ ФЕРМИ

## 1.1 Обґрунтування, розрахунок структури стада

На фермах для виробництва свинини доцільно утримувати п'ять груп свиней ( у віці 2-3, 3-4, 4-6, 6-8, 8-10 місяців з однаковою питомою вагою (20%) [2].

Користуючись цими даними розраховуємо склад і структуру стада для ферми, що проектується, на 1000 голів (таблиця 1.1)

Таблиця 1.1

Склад і структура стада

Виробнича група свиней	Кількість тварин	
	%	голів
Поросята у віці, міс		
2-3 (масою 20-30кг)	20	200
3-4 (масою 30-40кг)	20	200
Молодняк на відгодівлі у віці, міс		
4-6 (масою 40-55кг)	20	200
6-8 (масою 55-80кг)	20	200
8-10 (масою 80-100кг)	20	200

## 2.2 Обґрунтування способу утримання тварин

У свинарстві застосовують дві основні системи утримання свиней: вигульна та безвигульна. Безвигульна система утримання найбільш поширена у великих свинарських господарствах. При цій системі тварини від народження до реалізації знаходяться у приміщеннях в індивідуальних , або групових станках.

Його недолік – в спеціалізованих господарствах промислового типу цілорічне без вигульне утримання тварин може призвести до ослаблення конструкції, зниження їх резистентності й навіть до захворювань. Тому

										Арк.
										8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

нормами технологічного проектування свинарських підприємств передбачається вигульна система утримання всього поголів'я племінних ферм і племінних репродукторів свинокомплексів (крім відлучених поросят, а також кнурів-плідників, ремонтного молодняку, холостих свиноматок (при груповому утриманні) та маток з визначеною супоросністю на товарних фермах і комплексах промислового типу.

Все інше поголів'я свиней на товарних фермах і великих комплексах, як правило утримується безвигульно [2].

З урахуванням викладеного вище проектованій свиновідгодівельній фермі застосовуємо без вигульну систему утримання тварин.

У будівлях свиней буде розміщено в групових станках з урахуванням їх вікових груп.

Режим роботи ферми являє собою конкретні розпорядки робочого дня для свинарів, що обслуговують свиней і для операторів приготування кормів.

При розробці розпорядку робочого дня визначають його тривалість, фізіологічно обґрунтований час початку і кінця роботи, час початку і тривалість обідньої перерви. Розпорядки робочого дня повинні забезпечувати повну та рівномірну завантаженість виконавців, своєчасне виконання встановлених обов'язків, раціональний початок і кінець робочого дня.

Типові раціони для свиней розробляються у відповідності з набором кормів, виробництво яких найбільш рентабельне та забезпечує максимальне отримання поживних речовин із одиниці площі.

У свинарстві найчастіше використовують три основні типи годівлі свиней з урахуванням природно-кліматичних зон і системи кормо виробництва:

Концентратно-коренеплодний, концентратно-картопляний, концентратний.

Важливим критерієм при виборі раціонів є середньодобовий приріст живої маси тіла тварини. Плануємо такі показники продуктивності:

Середньодобовий приріст на відгодівлі та вирощуванні- 385-420г;

					ДП АІ 22.09.00.00 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Середньодобовий приріст на відгодівлі – 450-490г (у відповідності із завданням); виробництво свинини (в живій масі) на початкову голову – 104-113кг.

Раціони для свиней при концентратно-коренеплодному типи годівлі наведені в таблиці 1.2 [2].

Таблиця 1.2

Раціони для свиней при концентратно-коренеплодному типи годівлі

Склад раціонів	Поросята 2-4 місяці		Молодняк на відгодівлі	
	Зима	Літо	Зима	Літо
Ячмінь, кг	0,6	1,0	0,8	0,9
Кукурудза, кг	0,2	-	0,5	0,8
Горох, кг	0,1	-	0,3	0,2
Трав'яне борошно, кг	0,06	-	0,2	-
Шрот соняшниковий, кг	0,2	0,2	0,1	-
Знежирене молоко, кг	1,2	1,0	0,8	0,8
Буряк напівцукровий, кг	0,7	-	4,0	-
Зелена маса бобових, кг	-	0,8	-	3,0
Крейда, кг	8	5	-	-
Фосфат обезфторений, г	10	-	45	-
Преципітат, г	-	9	-	27
Сіль поварена, г	5	5	17	17
Премікс, г	15	15	34	34

Добову  $P_d$  (кг) і річну  $P_p$  (кг) потребу в кормах розраховуємо за формулами:

$$P_d = n_1 m_1 + n_2 m_2, \quad (1.1)$$

$$P_p = P_{дл} t_{л} + P_{дз} t_{з}, \quad (1.2)$$

де  $n_1, n_2$  – добова норма видачі корму в розрахунку на одну тварину для різних груп, кг;

$m_1, m_2$  – поголів'я тварин у групах;

$P_{дл}, P_{дз}$  – добова витрата кормів у літній та зимовий періоди року, кг;

$t_{л}, t_{з}$  – тривалість літнього та зимового періодів використання даного виду корму, днів (приймаємо  $t_{л}=185$  днів,  $t_{з}=180$  днів);

$k$  – коефіцієнт, що враховує витрату кормів під час зберігання та транспортування (для концентрованих кормів  $k = 1,01$ ; для коренеплодів  $k = 1,03$ ; для зеленої маси  $k = 1,05$ ).

Таблиця 1.3

Добова та річна потреби в кормах

Корм	Потреба в кормах, кг		
	Добова		Річна
	Зима	Літо	
1	2	3	4
Ячмінь	720	940	306535
Кукурудза	380	480	158772
Горох	220	120	62418
Трав'яне борошно	144	-	26179
Шрот соняшниковий	140	80	40400
Знежирене молоко	960	880	335600
Буряк напівцукровий	2680	-	496872
Зелена маса бобових	-	2120	411810
1	2	3	4
Крейда	3,2	2	955
Фосфат обезфторений	31	-	5636
Преципітат	-	19,8	3700
Сіль поварена	12,2	12,2	4498
Премікс	26,4	26,4	9732

## 1.2 Вибір машин та обладнання для технологічних ліній і їх розрахунок

Свинням усіх виробничих груп на фермі (поросяткам у віці 2-4 місяці та молодняку на відгодівлі у віці 4-10 місяців) корми будемо роздавати два рази на добу (о 6 та 16 годинах).

При цьому приймаємо рівномірний розподіл добової норми кормів (по масі та видам) під час ранкового та вечірнього годувань.

Визначимо добову продуктивність кормоцеху  $W_{\text{доб}}$  (кн., доб) за формулою [3]

$$W_{\text{доб}} = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n, \quad (1.10)$$

де  $Q_1, Q_2 \dots Q_n$ - добове (максимальне) споживання різних кормів, що підлягають обробці, кг (див. табл. 2.7),

$$W_{\text{доб}} = 2((228+539)+(12+60)+(140+1200)+(240+240)) = 5318 \text{ кг/доб} = 5,3 \text{ т/доб}$$

Таблиця 1.5

### Витрати кормів на разову видачу

Вид корму	Витрата корму, кг			
	Поросята 2-4 місяці (400 голів)		Молодняк на відгодівлі (600 голів)	
	Зима	Літо	Зима	Літо
Концентрований(ячмінь, кукурудза, Горох, шрот соняшниковий, кормові добавки)	228	247	539	594
Трав'яне борошно	12	-	60	-
Коренеплоди(буряк)	140	-	1200	-
Зелена маса бобових	-	160	-	900
Знежирене молоко(молочні відвійки)	240	200	240	240

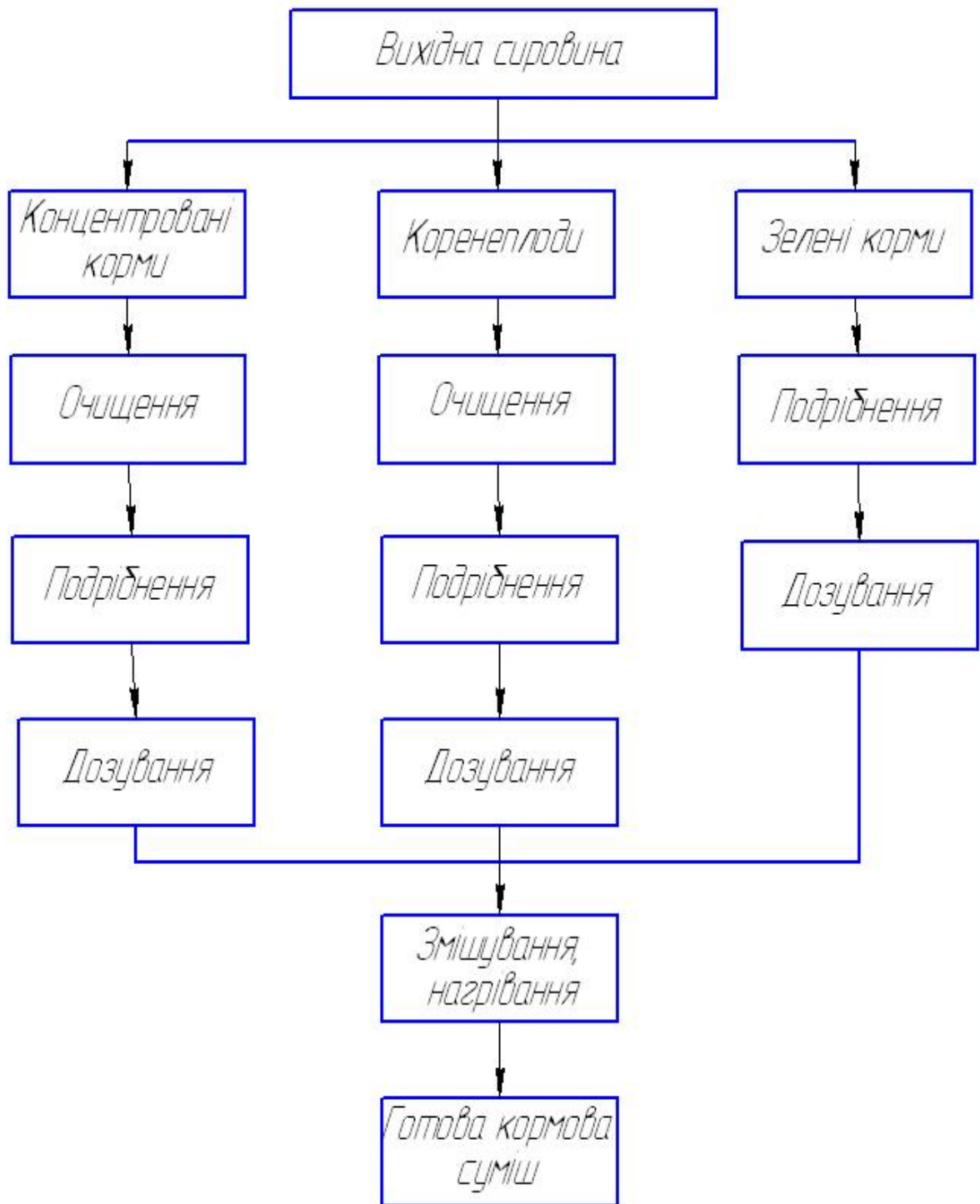


Рисунок 1.1- Технологічна схема підготовки до згодування кормових компонентів

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Годинна продуктивність кормоцеху складатиме:

$$W_z = \frac{W_{\text{доб}}}{T_{\text{рд}}}, \quad (1.11)$$

де  $T_{\text{рд}}$  – час роботи кормоцеху за добу, год. (приймаємо  $T_{\text{рд}} = 7$  годин);

$W_{\text{доб}}$  – добова продуктивність кормоцеху, т/доб

$$W_z = \frac{5,3}{7} = 0,8 \text{ т/год}$$

Виходячи з годинної продуктивності кормоцеху та технологічної схеми кормоприготування вибираємо кормоцех КЦС 100/1000 продуктивність якого при приготуванні запарених сумішей складає 1,5 т/год.

До складу кормоцеху КЦС 100/1000 входять такі технологічні лінії: лінія концентрованих кормів; лінія зелених кормів і трав'яного борошна; лінія коренеплодів; лінія приготування відвійок; лінія приготування кормових сумішей; лінія вивантаження готових кормових сумішей (див.арк.2 графічної частини)

Лінія концентрованих кормів складається із бетонного приймального бункера місткістю  $15\text{м}^3$ , норій НЦГ-10 і живильника ПК-6,0 концентрованих кормів, які по необхідності подаються в завантажувальний шнек ШЗС-40 і далі в змішувач С-12.

Лінія зелених кормів і трав'яного борошна складається із універсальної дробарки КДУ-2, подрібнювача кормів «Волгарь-5», живильника трав'яного борошна ПСМ-10 і скребкового транспортера ТС-40С.

Лінія коренеплодів включає два бетонні приймальні бункери місткістю  $9\text{м}^3$  кожний, транспортер коренеплодів ТК-5Б і подрібнювач ИКМ-5.

До лінії приготування відвійок входить резервуар РМВЦ-2 для зберігання молока, відцентровий насос 36МЦ-10-20, система трубопроводів і кранів.

Лінія приготування кормових сумішей включає в себе завантажувальний шнек ШЗС-40 і змішувач С-12.

					ДП АІ 22.09.00.00 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Лінія вивантаження готових кормових сумішей складається із вивантажувального шнека ШВС-40М з скребковим транспортером ТС-40М.

Для приготування кормів на фермі, що проектується, вибираємо кормоцех КЦС-100/1000.

Перевіримо пропускну здатність ліній.

Лінія концентрованих кормів

Продуктивність  $W_{л.конц.}$  (кг/год) лінії дорівнює [3]

$$W_{л.конц.} = \frac{Q_{р.конц.}}{t_{л.}}, \quad (1.12)$$

де  $Q_{р.конц.}$  – максимальна маса концкормів, що витрачається на разову дачу, кг,  $Q_{р.конц.} = 594$  кг (табл.2.7)

$t_{л.}$  – час, відведений на підготовку однієї порції з максимальною кількістю даного виду корму, год., приймаємо  $t_{л.} = 0,5$  год,

$$W_{л.конц.} = \frac{594}{0,5} = 1188 \text{ кг/год} = 12 \text{ т/год.}$$

Концкорми дозуються живильником ПК-6,0, який має номінальну продуктивність 6т/год [4]. Як бачимо  $W_{жив.} > W_{л.конц.}$ , отже одного живильника досить для завантаження концкормів у змішувач С-12.

Приймаємо, що в господарстві використовуються не готові концентрати (комбікорми), а зерно, тоді необхідна продуктивність дробарки  $W_{др.}$  (кг/год) буде дорівнювати

$$W_{др.} = \frac{Q_{доб.з.}}{T_{рд}}, \quad (1.13)$$

де  $Q_{доб.з.}$  – максимальна маса зерна, що використовується для приготування добової норми концкормів, кг,  $Q_{доб.з.} = 1540$  кг (див.табл.2.4)

$T_{рд}$  – час роботи кормоцеху за добу, год (приймаємо  $T_{рд} = 7$  годин);

$$W_{др.} = \frac{1540}{7} = 220 \text{ кг/год}$$

Вибираємо дробарку КДУ-2,0 (продуктивність на зерні до 2,0 т/год) [11].

					ДП АІ 22.09.00.00 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Враховуючи те, що дробарка такої ж марки встановлена в лінії сінного борошна і використовується лише в зимовий період для приготування незначних об'ємів сінного борошна, використаємо її і для подрібнення зерна.

Лінія сінного борошна

Продуктивність лінії визначимо по аналогії з лінією концормів:

$$W_{л.сін.} = \frac{60}{0,5} = 120 \text{ кг/год} = 0,12\text{т/год}$$

Продуктивність дробарки КДУ-2,0 на сінні становить 0,8т/год [11]. Отже, для приготування сінного борошна достатньо однієї дробарки КДУ-2,0 (продуктивність на зерні до 2,0 т/год, на сінні становить 0,8 т/год)

Лінія зелених кормів

Продуктивність лінії визначаємо по аналогії з лініями концормів та сінного борошна:

$$W_{л.зел.} = \frac{900}{0,5} = 1800 \text{ кг/год} = 1,8\text{т/год}$$

Продуктивність подрібнювача кормів «Волгарь-5» при подрібненні зеленої маси – до 6т/год

Лінія коренеплодів

Продуктивність лінії (допустима тривалість переробки і зберігання коренеплодів рівна 2год, приймаємо  $t_{л.} = 0,8\text{год}$ )

$$W_{к / рjhty / .} = \frac{1200}{0,8} = 1500 \text{ кг/год} = 1,5 \text{ т/год}$$

Продуктивність транспортера коренеплодів ТК-5Б до 5т/год, мийки-коренерізки – до 7т/год [11]. Як бачимо, виконання операцій «дозованої подачі коренеплодів із приймального бункера в подрібнювач» і «миття, каменеуловлювання та подрібнення коренеплодів» достатньо мати один ТК-5Б та один ИКМ-5.

Лінія змішування кормів

Продуктивність технологічної лінії змішування кормів визначаємо за формулою

					ДП АІ 22.09.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

$$W_{л.зміш} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{p.конц.}}{t_{ц}}, \quad (1.14)$$

де  $\sum_{i=1}^n Q_i$  – сумарна маса компонентів, що входить у суміш із  $n$  видів кормів на разову дачу (максимальну), кг,

$$\sum_{i=1}^n Q_i = 539 + 60 + 1200 + 240 = 2039 \text{ кг (табл..2.7);}$$

$t_{ц}$  – тривалість циклу змішування кормів, год.

$$t_{ц} = t_{зав} + t_{нагр} + t_{вив}, \quad (1.15)$$

де  $t_{зав}$  – час завантаження змішувача, год, приймаємо  $t_{зав} = t_{л.корен.} = 0,8$  год;

$t_{нагр}$  – час нагрівання суміші, год.,  $t_{нагр} = 0,8-1,2$  год., для змішування С-12 [11], приймаємо  $t_{нагр} = 0,8$  год;

$$t_{вив} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{W}, \quad (1.16)$$

де  $W$  – продуктивність змішувача С-12 на вивантаження кормо сумішей,  $W = 40000$  кг/год;

$\sum_{i=1}^n Q_i$  – сумарна маса компонентів;

$$t_{вив} = \frac{2039}{40000} = 0,05 \text{ год,}$$

$$t_{ц} = 0,8 + 0,8 + 0,05 = 1,65 \text{ год,}$$

$$W_{л.зміш} = \frac{2039}{1,65} = 1236 \text{ кг/год} = 1,2 \text{ т/год}$$

Продуктивність змішувача з запарюванням (нагріванням) 5т/год (за технічною характеристикою). Отже, одного змішувача досить для приготування кормів на разову дачу молодняку на відгодівлі.

Визначимо кількість води  $P_B$  (кг), яку необхідно додати в суміш для отримання заданої вологості кормо суміші [10]

$$P_B = \frac{Q_{рац} (B_0 - B_{рац})}{100 - B_0}, \quad (1.17)$$

де  $Q_{рац}$  – маса суміші раціону без води, кг;

					ДП АІ 22.09.00.00 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$V_0$  – задана вологість кормо суміші, %;

$V_{\text{рац}}$  – вологість кормо суміші (без додавання води), %.

Маса суміші раціону без води для молодняка на відгодівлі (зима)  $Q_{\text{рац}} = \sum_{i=1}^n Q_i = 2039$  кг, для поросят 2-4 місяці (зима),  $Q_{\text{рац}} = 228 + 12 + 140 + 240 = 620$  (табл. 2.7).

Найбільш доцільно згодувати свиням кормо суміші вологістю

$V_0 = 57-70\%$  [10], приймаємо  $V_0 = 65\%$ .

Вологість кормової суміші  $V_{\text{рац}}$  (%) визначаємо за формулою

$$V_{\text{рац}} = \frac{V_1 \Pi_1 + V_2 \Pi_2 + \dots + V_n \Pi_n}{100}, \quad (1.18)$$

де  $V_1, V_2, \dots, V_n$  – вологість компонентів раціону, % (для концентрованих кормів – 14%, сінного борошна – 16%, коренеплодів – 82%, знежиреного молока (молочних відвійок) – 91%) [3];

$\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n$  – вміст компонентів в раціоні, % (табл. 2.7)

$V_{\text{рац}}$  молодняка на відгодівлі

$$V_{\text{рац}} = \frac{14 \cdot 36,7 + 16 \cdot 1,9 + 82 \cdot 22,6 + 91 \cdot 38,7}{100} = 59\%,$$

Кількість води, яку необхідно додати в суміш для отримання вологості  $V_0 = 65\%$ .

При приготуванні кормо суміші для молодняка на відгодівлі

$$P_B = 2039 \frac{65 - 63}{100 - 65} = 116 \text{ кг},$$

При приготуванні кормо суміші для поросят

$$P_B = 620 \frac{65 - 59}{100 - 59} = 91 \text{ кг}.$$

Необхідна кількість пари  $P_n$  (кг) нагрівання кормо суміші разової дачі визначається виходячи з витрати пари на нагрівання лише компонентів кормо суміші (води та молочних відвійок)

$$P_n = q \cdot Q_{p/k}, \quad (1.19)$$

									Арк.
									18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

де  $q$  – норма витрати пари на нагрівання 1 кг води від  $7^{\circ}\text{C}$  до  $87^{\circ}\text{C}$ , кг,  $q = 0,20 \dots 0,25$  кг [5], приймаємо  $q = 0,22$  кг.

$Q_{p.k.}$  – витрата різних компонентів (води та молочних відвійок) на приготування разової дачі кормо суміші, кг,

$$Q_{p.k.} = (228 + 539) + (240 + 240) = 1247 \text{ кг}$$

$$P_{п} = 0,22 \cdot 1247 = 274 \text{ кг}$$

Інші види волого-теплової обробки (варка, пропарювання) кормів нами не передбачаються.

### Механізація роздавання кормів

Для транспортування кормів від кормоцеху до свинарника вибираємо мобільний кормороздавач КУТ-3А.

Необхідну кількість кормороздавачів КУТ-3А визначаємо за формулою

$$P_p = \frac{G_M}{Q_p \cdot T_d}, \quad (1.20)$$

де  $G_M$  – максимальна разова видача корму, кг, взимку з урахуванням доданої в суміш води  $G_M = 2$ ;

$Q_p$  – продуктивність роздавача, кг/год;

$T_d$  – час, що відводиться на доставку кормів, год., приймаємо  $T_d = 0,5$  год (згідно з розпорядком робочого дня, тривалість приймання та роздачі кормів становить 1 год, в тому числі роздача – не більше 0,5 год згідно вимог для мобільних роздавачів) [9].

Продуктивність роздавача може бути визначена так:

$$Q_p = \frac{G}{t_0}, \quad (1.21)$$

де  $G$  – фактична вантажопідйомність роздавача, кг;

$t_0$  – тривалість однієї ходки (одного циклу), год.

Фактична вантажопідйомність роздавача

$$G = V \rho_f, \quad (1.22)$$

де  $V$  – місткість бункера,  $\text{м}^3$ ,  $V = 3 \text{ м}^3$ ;

									Арк.
									19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

$\rho$  – об’ємна маса кормо суміші,  $\rho = 610\text{кг/м}^3$ ;

$\varphi$  – коефіцієнт заповнення ємності бункера,  $\varphi=0,75$ ,

$$G=3 \cdot 610 \cdot 0,75=1373\text{кг}$$

Тривалість ходки

$$t_0 = t_3 + t_p + t_B + t_{xx} + t_M, \quad (1.23)$$

де  $t_3$ ,  $t_p$ ,  $t_B$ ,  $t_{xx}$ ,  $t_M$  – відповідно тривалість завантаження корму в роздавач; руху з вантажем; вивантаження корму в приймальний бункер свинарника; руху без вантажу (холостий хід); маневрування при в’їзді на розвантажувальний майданчик, год.

Тривалість завантаження корму в роздавач

$$t_3 = \frac{G}{W_{л.в.}}, \quad (1.24)$$

де  $W_{л.в.}$  – продуктивність лінії вивантаження готових кормів, кг/год,

$$W_{л.в.}=20000 \text{ кг/год [10]},$$

$$t_3 = \frac{1373}{20000} = 0.07 \text{ год}$$

Тривалість руху з вантажем

$$t_p = \frac{L}{v_p}, \quad (1.25)$$

де  $L$  – відстань між кормоцехом і свинарником, км, приймаємо  $L=0,3$ км;

$v_p$  – швидкість руху агрегату з вантажем, км/год, приймаємо  $v_p=6$ км/год [11],

$$t_p = \frac{0.3}{6} = 0.05 \text{ год}$$

Тривалість вивантаження

$$t_B = \frac{G}{Q_B}, \quad (1.26)$$

де  $Q_B$  – продуктивність вивантажувального пристрою роздавача км/год,  $Q_B$  становить до 54т/год [11], приймаємо  $Q_B=25000$ кг/год;

$G$  – фактична вантажопідйомність, кг,

$$t_B = \frac{1373}{25000} = 0.05 \text{ год}$$

									Арк.
									20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Тривалість холостого ходу

$$t_{чч} = \frac{L}{v_{чч}}, \quad (1.27)$$

де  $v_{чч}$  – швидкість руху порожнього роздавача, приймаємо  $v_{чч}=9$ км/год;

$L$  – відстань між кормоцехом і свинарником, км, приймаємо  $L=0,3$ км;

$$t_{чч} = \frac{0.3}{9} = 0.03 \text{ год}$$

Час маневрування приймаємо  $t_M=0.03$ год

Тоді

$$t_0 = 0,07 + 0,05 + 0,05 + 0,03 + 0,03 = 0,23 \text{ год};$$

$$Q_p = \frac{1373}{0.23} = 5970 \text{ кг/год}$$

$$P_p = \frac{2866}{5970 \cdot 0.5} = 1 \text{ шт}$$

Лінія роздачі кормів у свинарнику-відгодівельнику складається з приймального бункера-дозатора, завантажувального транспортера та двох кормороздавачів КЭС-1,7. Фактично її можна розділити на дві ділянки, що обслуговуються індивідуальними роздавачами. Кожна ділянка розрахована на 500 голів свиней.

Перевіримо пропускну здатність індивідуальних ділянок лінії роздачі кормів.

Пропускна здатність ділянки  $W_{д\text{іл}}$  (кг/год) дорівнює

$$W_{д\text{іл}} = \frac{Q_{\text{макс.розд.}}}{T_p}, \quad (1.28)$$

де  $Q_{\text{макс.розд.}}$  – максимальна кількість корму, яку необхідно роздати за одне годування, кг,  $Q_{\text{макс.розд.}} = 1800$ кг для 500 голів молодняка на відгодівлі (зима, з врахуванням води);

$T_p$  – час неперервної роботи роздавача корму, год., приймаємо  $T_p=0,5$ год [9],

$$W_{д\text{іл}} = \frac{1800}{0.5} = 3600 \text{ кг/год}$$

					ДП АІ 22.09.00.00 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$$Q_{yfc/} = \frac{14.3}{7} = 2 \text{ м}^3/\text{ГОД}$$

За каталогом вибираємо заглибний насос марки ЭВЦ4-2,5-65, який має такі характеристики: діаметр свердловини  $4 \cdot 25 = 100 \text{ мм}$ ; подача  $2,5 \text{ м}^3/\text{год}$ ; напір  $65 \text{ м}$  вод. стовпа. Насос комплектується електродвигуном марки 1ПЭДВ-1-93; потужність  $1,0 \text{ кВт}$ ; частота обертання  $2840 \text{ хв}^{-1}$  [7].

Визначаємо місткість резервуара  $V_{рез}$  ( $\text{м}^3$ ) водонапірної башти

$$V_{рез} = (0,15 \dots 0,20) Q_{\text{макс.доб}}, \quad (1.33)$$

де  $Q_{\text{макс.доб}}$  – максимальна добова витрата води,

$$V_{рез} = 0,20 \cdot 14,3 = 2,9 \text{ м}^3,$$

Приймаємо  $V_{рез} = 10 \text{ м}^3$  (найближчий стандартний розмір).

Діаметр труб  $d$  (м) зовнішнього водопроводу на початковій ділянці, через яку проходить уся кількість води, визначаємо за формулою

$$d = \sqrt{\frac{4q_c}{\pi v}}, \quad (1.34)$$

де  $q_c$  – максимальна секундна витрата води,  $\text{м}^3/\text{с}$ ,

$$q_c = \frac{Q_{\text{макс./год}}}{3600} = \frac{1,5}{3600} = 0,004 \text{ м}^3/\text{с};$$

$v$  – швидкість води в трубах,  $\text{м}/\text{с}$ ,  $v = 0,4 \dots 1,25 \text{ м}/\text{с}$ , приймаємо  $0,4 \text{ м}/\text{с}$ ;

$\pi$  – стала величина,  $\pi = 3.14$ ,

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.0004}{3.14 \cdot 0.4}} = 0.036 \text{ м}$$

Вибираємо сталеві водогазопровідні труби з діаметром  $d = 40 \text{ мм}$  (умовним). Приймаємо, що ввід водопроводу в будівлі відгодівельника виконаний з сталевих водогазопровідних труб  $25$  і  $15 \text{ мм}$ .

Для напування поросят у віці  $2 \dots 4$  місяців (відлучених поросят) обираємо одночашкові самоочисні автонапувалки ПСС-1, а для молодняку на відгодівлі – соскові напувалки ПБС-1. Соскові напувалки порівняно з чашковими більш гігієнічні і дозволяють скоротити втрату води на  $18-20\%$  [2].

Необхідна кількість автонапувалок на фермі [7]

					ДП АІ 22.09.00.00 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n = \frac{m}{Z}, \quad (1.35)$$

де  $m$  – кількість тварин, голів;

$Z$  – коефіцієнт, який показує на яку кількість тварин розрахована автонапувалка,  $Z=25$  для автонапувалок ПСС-1,  $Z=20$  для автонапувалок ПБС-1,

$$n_{псс} = \frac{400}{25} = 16 \text{ шт};$$

$$n_{пбс} = \frac{600}{20} = 30 \text{ шт.}$$

Отже нам потрібно на ферму автонапувалок ПСС-1=16шт,ПБС-1=30шт

### Складання зведеної відомості необхідної кількості машин і обладнання для ферми

Таблиця 1.6

Зведена відомість машин та обладнання ферми

Назва машин та обладнання	Марка	Кількість, шт
1	2	3
Заглибний насос	ЭЦВ4-2,5-65	1
Водонапірна башта	БР-15У	1
1	2	3
Автонапувалки	ПСС-1	16
	ПБС-1	30
Насос відцентровий	НЦИ-Ф-100	1
Транспортери скребкові	ТС-40С	1
	ТС-40М	1
Живильник концкормів	ПК-6Б	1
Шнек завантажувальний	ШЗС-40М	1
Шнек вивантажувальний	ШВС-40М	1

					<b>ДП АІ 22.09.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Транспортер коренеплодів	ТК-5Б	1
Живильник трав'яного борошна	ПСМ-10	1
Подрібнювач коренеплодів	ИКМ-5	1
Змішувач кормів	С-12	1
Подрібнювач кормів	Волгарь 5	1
Дробарка кормів	КДУ-2	1
Резервуар для зберігання молока	РМВЦ-2	1
Насос для молока	36МЦ10-20	1
Котел-пароутворювач	Д-721	1
Кормороздавачі	КУТ-3А	1
	КЭС-1,7	2

### Розробка графіка машино використання

Для забезпечення високопродуктивного використання машин і обладнання на фермі розробляють графік машино використання з урахуванням технології утримання та годування тварин, а також особливості господарства.

Вихідними даними для графіка є такі: годинна та змінна продуктивність, баланс машинного часу, питомі затрати праці та енергії, режим робочого дня на фермі, а також обсяг і технологія робіт.

Графік машиновикористання складаємо так. По горизонталі у масштабі відкладаємо години доби, по вертикалі види робіт. У першому стовпчику графіка вказуємо вид роботи, у другому – машини, у третьому – обсяг робіт, в четвертому – продуктивність, п'ятому – кількість машин. Розділивши обсяг робіт на продуктивність машини і кількість машин, одержуємо кількість годин за добу та записуємо в шостому стовпчику. В сьомому стовпчику записуємо потужність машини за технічною характеристикою. Помноживши кількість годин роботи за добу на потужність машини та кількість машин,

										ДП АІ 22.09.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							25

одержуємо витрату електроенергії, яку записуємо у восьмому стовпчику. В дев'ятому горизонтальними лініями відмічаємо час початку та закінчення роботи для кожного виду обладнання.

					<i>ДП АІ 22.09.00.00 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		26

## 2. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЕНЕРГЕТИЧНОГО МОДУЛЯ

Виберемо основні вихідні параметри для виконання теплового і динамічного розрахунок дизеля:

Для двигуна вибираємо нерозділену камеру згоряння;

Степінь стиску..... $\varepsilon = 16$ ;

Параметри навколишнього середовища:  $P_0 = 0,1013$  МПа;  $T_0 = 293$  К;

Підвищення температури заряду в процесі впуску..... $\Delta T = 30$  К;

Коефіцієнт надлишку повітря..... $\alpha = 1,7$ ;

Параметри робочого тіла в кінці процесу впуску:  $P_r = 0,12$  МПа;  $T_r = 800$  К;

Коефіцієнт використання теплоти в основній фазі згоряння:.. $\xi = 0,9$ ;

Показник політропи: стиску.... $n_1 = 1,4$ ; розширення....  $n_2 = 1,25$ ;

Відношення ходу поршня до діаметра циліндра:..... $\frac{S}{D} = 1,2$ ;

Степінь підвищення тиску при згорянні:..... $\lambda = 1,8$ ;

Коефіцієнт округлення індикаторної діаграми:..... $\varphi = 0,95$ .

### 2.2 Параметри робочого тіла в кінці процесу впуску

Тиск в кінці процесу впуску, МПа:

$$P_a = P_0 - (\beta^2 + \phi_{вп}) \cdot \frac{\omega_{кл}^2}{2} \rho_0 \cdot 10^{-6}, \quad (2.1)$$

де  $(\beta^2 + \phi_{вп})$  – сумарний коефіцієнт, який враховує опір впускної системи, віднесений до площі перерізу в клапані,  $(\beta^2 + \phi_{вп}) = 2,5 \dots 4,0$ , приймаємо  $(\beta^2 + \phi_{вп}) = 3$ ;

$\omega_{кл}$  - середня швидкість свіжого заряду в прохідному перерізі клапану,  
 $\omega_{кл} = 50 \dots 130$  м/с, приймаємо  $\omega_{кл} = 80$  м/с;

$\rho_0$  - густина заряду при даних атмосферних умовах:

$$\rho_0 = \frac{P_0 \cdot 10^6}{R_{п} \cdot T_0}, \quad (2.2)$$

де  $R_{п}$  – питома газова стала повітря,  $R_{п} = 287$  Дж/(кг К),

$$\rho_0 = \frac{0,1013 \cdot 10^6}{287 \cdot 293} = 1,205 \text{ кг/м}^3;$$

									Арк.
									27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

$$P_a = 0,1013 - 3 \cdot \frac{80^2}{2} \cdot 1,205 \cdot 10^{-6} = 0,09 \text{ МПа.}$$

Коефіцієнт залишкових газів:

$$\gamma = \frac{T_0 + \Delta T}{T_r} \cdot \frac{P_r}{\varepsilon \cdot P_a - P_r} = \frac{293 + 30}{800} \cdot \frac{0,12}{16 \cdot 0,09 - 0,12} = 0,037$$

Температура кінця впуску:

$$T_a = \frac{T_0 + \Delta T + \gamma T_r}{1 + \gamma} = \frac{293 + 30 + 0,037 \cdot 800}{1 + 0,037} = 339,941 \text{ К.}$$

Коефіцієнт наповнення:

$$\eta_v = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{P_a}{P_0} \cdot \frac{T_0}{T_a(1 + \gamma)} = \frac{16}{16 - 1} \cdot \frac{0,09}{0,1013} \cdot \frac{293}{339,941(1 + 0,037)} = 0,785$$

### 2.3 Параметри робочого тіла в кінці процесу стиснення

Тиск:

$$P_c = P_a \varepsilon^{n_1} = 0,09 \cdot 16^{1,4} = 4,352 \text{ МПа.}$$

Температура:

$$T_c = T_a \varepsilon^{n_1 - 1} = 339,941 \cdot 16^{1,4 - 1} = 1030,507$$

Середня мольна теплоємність заряду в кінці процесу стиснення, кДж/(кмоль · К):

$$\begin{aligned} c_{V_c} &= 20,16 + 1,74 \cdot 10^{-3} \cdot T_c = \\ &= 20,16 + 1,735 \cdot 10^{-3} \cdot 1092,214 = 22,055 \text{ кДж/(кмоль К)} \end{aligned}$$

### 2.4 Параметри процесу згоряння

Згідно [1, табл. 5.16, с.42] визначаємо та приймаємо у вибраному паливі вміст вуглецю  $C = 0,87$ , водню  $H = 0,126$ , кисню  $O_a = 0,004O_2$ , нижчу теплоту згоряння  $h_H = 42500$  кДж/кг та молекулярну масу парів палива  $\mu_p = 170$  кг/кмоль.

Розрахуємо кількість повітря, теоретично необхідного для згоряння 1 кг палива,

в кмоль/кг:

$$L_0 = \frac{1}{0,21} \cdot \left( \frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O_a}{32} \right) = \frac{1}{0,21} \cdot \left( \frac{0,87}{12} + \frac{0,126}{4} - \frac{0,004}{32} \right) = 0,495$$

в кг/кг:

										ДП АІ 22.09.00.00 ПЗ	Арк.
											28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

$$l_0 = \frac{1}{0,23} \cdot \left( \frac{8}{3}C + 8H - O_a \right) = \frac{1}{0,23} \cdot \left( \frac{8}{3}0,87 + 8 \cdot 0,126 - 0,004 \right) = 14,452$$

Перевірка:

$$L_0 = \frac{l_0}{\mu_{\text{пов}}}, \quad (2.3)$$

де  $\mu_{\text{пов}}$  – молекулярна маса повітря:  $\mu_{\text{пов}} = 28,97$  кг/кмоль;

$$L_0 = \frac{14,452}{28,97} = 0,495 \text{ кмоль/кг.}$$

Кількість свіжого заряду палива і повітря:

$$M_1 = \alpha L_0 = 1,7 \cdot 0,495 = 0,841 \text{ кг/кмоль}$$

Кількість продуктів згоряння палива при повному згорянні:

$$\begin{aligned} M_2 &= \alpha L_0 + \frac{H}{4} + \frac{O_a}{32} = \\ &= 1,7 \cdot 0,495 + \frac{0,126}{4} + \frac{0,004}{32} = 0,873 \text{ кг/кмоль} \end{aligned}$$

Коефіцієнт молекулярної зміни:

теоретичний:

$$\mu_0 = \frac{M_2}{M_1} = \frac{0,841}{0,873} = 1,038$$

дійсний:

$$\mu = \frac{M_2 + \gamma \cdot M_2}{M_1 + \gamma \cdot M_1} = \frac{0,841 + 0,037 \cdot 0,841}{0,873 + 0,037 \cdot 0,873} = 1,036.$$

Середня мольна теплоємність продуктів згоряння в дизелі:

$$c_{P_z} = 20,2 + \frac{0,92}{\alpha} + \left( 15,5 + \frac{13,8}{\alpha} \right) 10^{-4} T_z + R, \quad (2.4)$$

де  $R$  – універсальна газова стала,  $R = 8,314$  кДж/(кмоль К)

Кількість теплоти, що передається газами при згоранні 1 кг палива

$$h = \xi h_H = 0,9 \cdot 42500 = 38250 \text{ кДж/кг.}$$

Визначення температури кінця процесу згоряння визначається на основі рівняння:

$$\frac{\xi h_H}{L_0 \cdot (1 + \gamma) \alpha} + (8,314 \lambda + c_{V_c}) T_c = \mu c_{P_z} T_z, \quad (2.5)$$

										Арк.
										29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП АІ 22.09.00.00 ПЗ					

Після підстановки у формулу (21) числових значень всіх відомих параметрів і формул та ряду перетворень рівняння можна звести до квадратного:

$$A \cdot T_z^2 + B \cdot T_z + C = 0, \quad (2.6)$$

$$\text{де } A = -\mu \left( 15,5 + \frac{13,8}{\alpha} \right) 10^{-4} = -1,036 \left( 15,5 + \frac{13,8}{1,7} \right) 10^{-4} = -0,002$$

$$B = -\mu \left( 20,2 + \frac{0,92}{\alpha} + R \right) = -1,036 \left( 20,2 + \frac{0,92}{1,7} + 8,314 \right) = -30,109$$

$$C = \frac{\xi h_H}{L_0 \cdot (1 + \gamma) \alpha} + (8,314 \lambda + c_{Vc}) T_c =$$

$$= \frac{0,9 \cdot 42500}{0,495 \cdot (1 + 0,037) 1,7} + (8,314 \cdot 1,8 + 21,948) 1030,507 = 81911,132$$

$$T_z = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}, \quad (2.7)$$

Корені рівняння  $T_{z1} = 2293,1$  К,  $T_{z2} = -14595,4$  К. Оскільки фізичний сенс може мати тільки додатковий корінь рівняння, тому  $T_z = 2293,1$  К

$$c_{Pz} = 20,2 + \frac{0,92}{1,7} + \left( 15,5 + \frac{13,8}{1,7} \right) 10^{-4} 2293,1 + 8,314 = 34,471$$

Тиск в кінці процесу згоряння:

$$P_z = \lambda P_c = 1,8 \cdot 4,352 = 7,834 \text{ МПа};$$

Показники, що характеризують процес згоряння:

ступінь попереднього розширення:

$$\rho = \frac{\mu T_z}{\lambda T_c} = \frac{1,036 \cdot 2293,1}{1,8 \cdot 1030,507} = 1,281$$

ступінь подальшого розширення

$$\delta = \frac{\varepsilon}{\rho} = \frac{16}{1,281} = 12,49$$

**Параметри робочого тіла в кінці процесу розширення**

Тиск:

$$P_b = \frac{1}{\delta^{n_2}} P_z = \frac{1}{12,49^{1,25}} 7,834 = 0,334 \text{ МПа.}$$

Температура:

$$T_b = \frac{1}{\delta^{n_2-1}} T_z = \frac{1}{8,059^{1,25-1}} 2293,1 = 1219,8 \text{ МПа.}$$

										Арк.
										30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП АІ 22.09.00.00 ПЗ					

Перевірка правильності прийняття температури  $T_r$ :

$$T_r' = \frac{T_b}{\sqrt[3]{P_b/P_r}} = \frac{1219,8}{\sqrt[3]{0,334/0,12}} = 867,43$$

$$\Delta = \frac{T_r' - T_r}{T_r'} \cdot 100\% = \left| \frac{867,43 - 800}{867,43} \right| \cdot 100\% = 7,774\%$$

### Індикаторні показники роботи циклу

Середній індикаторний тиск:

розрахунковий:

$$\begin{aligned} P_i' &= \frac{P_c}{\varepsilon - 1} \left\{ \lambda(\rho - 1) + \frac{\lambda\rho}{n_2 - 1} \left[ 1 - \left( \frac{\rho}{\varepsilon} \right)^{n_2 - 1} \right] - \frac{1}{n_2 - 1} \left[ 1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2 - 1}} \right] \right\} = \\ &= \frac{4,352}{16 - 1} \left\{ 1,8(1,281 - 1) + \frac{1,8 \cdot 1,281}{1,25 - 1} \left[ 1 - \left( \frac{1,281}{16} \right)^{1,25 - 1} \right] \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{1,25 - 1} \left[ 1 - \frac{1}{16^{1,25 - 1}} \right] \right\} = \\ &= 0,913 \text{ МПа} \end{aligned}$$

дійсний:

$$P_i = \varphi P_i' = 0,95 \cdot 0,913 = 0,868 \text{ МПа}$$

Індикаторний ККД:

$$\eta_i = \frac{P_i \cdot \alpha \cdot l_0}{\eta_v \cdot \rho_0 \cdot h_H} 10^3 = \frac{0,868 \cdot 1,7 \cdot 14,452}{0,785 \cdot 1,205 \cdot 42500} 10^3 = 0,530$$

Питома індикаторна витрата палива:

$$g_i = \frac{3600000}{h_H \cdot \eta_i} = \frac{3600000}{42500 \cdot 0,53} = 159,792 \text{ г/(кВт год)}$$

### Ефективні показники роботи циклу

Середній тиск механічних витрат:

$$P_e = P_i - P_M, \quad (2.8)$$

де  $P_M$  - середній умовний тиск механічних витрат, наближене значення якого визначається за емпіричною формулою:

$$P_M \approx a + b \cdot \nu_{\text{Пср}}, \quad (2.9)$$

									ДП АІ 22.09.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						31

де  $a$  і  $b$  – коефіцієнти, що залежать від типу двигуна [1, табл. 5.20, с.49], приймаємо  $a = 0,105$ ,  $b = 0,0138$ ;

$v_{Пср}$  – середня швидкість поршня [1, табл. 5.21, с.49], приймаємо  $v_{Пср} = 6,5$  м/с;

$$P_M \approx 0,105 + 0,0138 \cdot 6,5 = 0,195 \text{ МПа.}$$

$$P_e = 0,868 - 0,195 = 0,673$$

Механічний к.к.д.:

$$\eta_M = \frac{P_e}{P_i} = \frac{0,673}{0,868} = 0,776$$

Ефективний к.к.д.:

$$\eta_e = \eta_i \eta_M = 0,53 \cdot 0,776 = 0,411$$

Питома ефективна витрата палива:

$$g_e = \frac{3600000}{h_n \cdot \eta_e} = \frac{3600000}{42500 \cdot 0,411} = 206,019 \text{ г/кВт}$$

Годинна витрата палива:

$$G_{ТН} = \frac{N_{ен} g_e}{1000} = \frac{31 \cdot 206,019}{1000} = 6,387 \text{ кг/ГОД}$$

Номінальна циклова подача палива, мм<sup>3</sup>/цикл:

$$q_{ЦН} = \frac{G_{ТН} \cdot \tau_{дв} \cdot 10^6}{120 \cdot n \cdot i \cdot \rho_{пал}}, \quad (2.10)$$

де  $\rho_{пал}$  – густина палива при температурі 20°C, [1, табл. 5.16, с.42], приймаємо  $\rho_{пал} = 0,83$  г/см<sup>3</sup>,

$i$  – кількість циліндрів, приймаємо  $i = 4$ ,

$\tau_{дв}$  - число ходів поршня, приймаємо  $\tau_{дв} = 4$ ,

$n$  – номінальна частота обертання двигуна,  $n = 2000$  хв<sup>-1</sup>:

$$q_{ЦН} = \frac{6,387 \cdot 4 \cdot 10^6}{120 \cdot 2000 \cdot 4 \cdot 0,83} = 32,061 \text{ мм}^3/\text{цикл}$$

Крутний момент двигуна:

на номінальному режимі:

$$M_{КРН} = 9550 \frac{N_{ен}}{n} = 9550 \frac{31}{2000} = 148,025 \text{ Нм}$$

максимальний

						ДП АІ 22.09.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			32

$$M_{KРmax} = K \cdot M_{KРн}, \quad (2.11)$$

де  $K$  – коефіцієнт пристосування двигуна, для дизелів  $K = 1,15 \dots 1,3$ ,  
приймаємо  $K = 1,2$ :

$$M_{KРmax} = 1,2 \cdot 148,025 = 177,63 \text{ Нм.}$$

Літрова потужність двигуна:

$$N_{л} = \frac{P_{ен}}{30\tau_{дв}} = \frac{0,673 \cdot 2000}{30 \cdot 4} = 11,217 \text{ кВт/л}$$

## 2.8 Основні розміри двигуна

Робочий об'єм двигуна:

$$V_{л} = \frac{N_{ен}}{N_{л}} = \frac{31}{11,217} = 2,764 \text{ л}$$

Робочий об'єм циліндра:

$$V_h = \frac{V_{л}}{i} = \frac{2,764}{4} = 0,691 \text{ л}$$

Об'єм камери згоряння:

$$V_c = \frac{V_h}{\varepsilon - 1} = \frac{0,691}{16 - 1} = 0,046 \text{ л}$$

Повний об'єм циліндра:

$$V_a = V_h + V_c = 0,691 + 0,046 = 0,737 \text{ л}$$

Діаметр циліндра:

$$D = 100^3 \sqrt{\frac{4V_h}{\pi S}} = 100^3 \sqrt{\frac{4 \cdot 0,691}{3,14 \cdot 1,2}} = 92,8 \text{ мм.}$$

Приймаємо  $D = 94 \text{ мм.}$

Площа поршня:

$$F_{порш} = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 93^2}{4} = 6792,909 \text{ мм}^2.$$

Хід поршня:

$$S = D \cdot \frac{S}{D} = 93 \cdot 1,2 = 102,3 \text{ мм.}$$

Приймаємо  $S = 104 \text{ мм}$

Перевірка середньої швидкості поршня

$$v'_{Пср} = \frac{S \cdot 10^{-3} n}{30} = \frac{104 \cdot 10^{-3} \cdot 2000}{30} = 6,933 \text{ м/с;}$$

									ДП АІ 22.09.00.00 ПЗ	Арк.
										33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

$$\Delta = \frac{v'_{\text{Пср}} - v_{\text{Пср}}}{v'_{\text{Пср}}} 100\% = \left| \frac{6,933 - 6,5}{6,933} \right| 100\% = 6,25\%$$

Довжина шатуна:

$$L_{\text{ш}} = \frac{R}{\lambda_{\text{кшм}}}, \quad (2.12)$$

де  $\lambda_{\text{кшм}}$  – постійна кривошипно-шатуного механізму,  $\lambda_{\text{кшм}} = 0,25 \dots 0,29$ , приймаємо  $\lambda_{\text{кшм}} = 0,27$ .

$R$  – радіус кривошипа:

$$R = \frac{S}{2} = \frac{104}{2} = 52 \text{ мм.}$$

$$L_{\text{ш}} = \frac{52}{0,27} = 192,59 \text{ мм}$$

Приймаємо  $L_{\text{ш}} = 194 \text{ мм.}$

Індикаторна потужність двигуна, кВт:

$$N_i = \frac{P_i \cdot V_d \cdot n}{30 \cdot \tau_{\text{дв}}} = \frac{0,868 \cdot 2,764 \cdot 2000}{30 \cdot 4} = 39,968$$

Потужність механічних втрат:

$$N_{\text{м}} = N_i - N_{\text{ен}} = 39,968 - 31 = 8,968 \text{ кВт}$$

Отримані дані заносимо до таблиці.

#### Результати теплового розрахунку двигуна внутрішнього згорання

Параметри двигуна	Числові значення параметрів	
	двигун-прототип	запроектований двигун
Номінальна ефективна потужність $N_{\text{ен}}$ , кВт	27,2	31
Номінальна частота обертання колінвала $n$ , хв <sup>-1</sup>	1500	2000
Питома ефективна витрата палива $g_e$ , кг/(кВт год)	239	206,019

## Динамічний розрахунок двигуна

Метою динамічного розрахунку двигуна внутрішнього згоряння є визначення сил, які діють в кривошипно-шатунному механізмі: сил від надлишкового тиску газів та нормальних сил, що діють на поршень двигуна, сил інерції мас, що виконують зворотно поступальний та обертальний рух та ін., визначення індикаторного крутного моменту двигуна, його нерівномірності та основних розмірів маховика.

### Побудова індикаторної діаграми

Індикаторна діаграма двигуна будується у вигляді залежності  $P(S)$  – тиск газів  $P$  у циліндрі двигуна від переміщення поршня  $S$ .

Індикаторна діаграма будується в такій послідовності. Початок координат відповідає уявному положенню поршня, коли об'єм над ним дорівнював би нулю.

Вибравши масштаб переміщення поршня  $m_x = 1$  мм/мм на індикаторній діаграмі відкладаємо по осі абсцис від початку координат послідовно значення  $S = 104$  мм та  $S_c$

$$S_c = \frac{S}{\varepsilon - 1} = \frac{104}{16 - 1} = 6,933.$$

Отримані точки і вертикальні лінії, що проходять через них, відповідають верхній і нижній мертвим точкам (ВМТ і НМТ).

Масштаб тиску вибираємо  $m_y = 20$  мм/МПа.

На відстані 0,1 МПа від осі абсцис проводимо горизонталь, що відповідає атмосферному тиску  $p_K$

На діаграму наносимо отримані за результатами теплового розрахунку значення тиску, які відповідають:

$P_a = 0,09$  МПа,  $P_b = 0,334$  МПа – на лінії НМТ;

$P_r = 0,12$  МПа,  $P_c = 4,352$  МПа,  $P_z = 7,834$  МПа - на лінії ВМТ.

									Арк.
									35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП АІ 22.09.00.00 ПЗ				

На відстані  $S_c \cdot \rho = 104 \cdot 1,281 = 8,882$  мм у вибраному масштабі від осі ординат проводиться пряма, паралельна до осі ординат, а з точки  $z'$  (вправо) – пряма, паралельна до осі абсцис. На перетині вказаних прямих наноситься точка  $z$ , яка відображає значення тиску кінця процесу згоряння при  $P = const$ .

Використовуючи отримані точки, тонкими лініями будуюмо індикаторну діаграму так званого розрахункового циклу, яка відрізняється від діаграми дійсного циклу відсутністю заокруглень.

Для графічної побудови політроп стиснення  $a - c$  і розширення  $z - b$  з початку координат проводимо допоміжні лінії під кутом  $\alpha$  до осі абсцис і під кутами  $\beta_1$  і  $\beta_2$  до осі ординат.

$$\alpha = \arctg(0,3) = 16,7^\circ$$

$$tg\beta_1 = (1 + tg\alpha)^{n_1} - 1 = (1 + 0,3)^{1,4} - 1 = 0,458$$

$$\beta_1 = \arctg(0,458) = 24,626^\circ$$

$$tg\beta_2 = (1 + tg\alpha)^{n_2} - 1 = (1 + 0,3)^{1,25} - 1 = 0,401$$

$$\beta_2 = \arctg(0,382) = 21,831^\circ$$

Спочатку будується лінія стиснення  $a - c$ , а потім лінія розширення  $z - b$ .

Побудова політропи стиснення

З точки  $c$  проводимо дві лінії: першу (горизонтальну пряму) – паралельно осі абсцис до перетину з віссю ординат, другу (вертикальну пряму) – паралельно осі ординат до перетину з променем, що визначається кутом  $\alpha$  до осі абсцис.

З точки перетину першої лінії (горизонтальної прямої) з віссю ординат під кутом  $45^\circ$  до осі ординат проводимо (вниз) лінію до перетину з променем, що утворений кутом  $\beta_1$ . З отриманої точки проводимо (вправо) горизонтальну пряму.

З точки перетину другої лінії (вертикальної прямої) з променем, який утворений кутом  $\alpha$  до лінії абсцис проводимо пряму під кутом  $45^\circ$  до осі

						ДП АІ 22.09.00.00 ПЗ	Арк.
							36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

абсцис (вправо) до перетину з віссю абсцис і з отриманої точки – вертикальну пряму до перетину з проведеною раніше горизонтальною прямою. Ця точка розміщується на політропі стиснення. З цієї отриманої точки повторюємо таку ж саму побудову, як і з точки  $c$ . В результаті отримуємо другу точку лінії стиснення.

Побудову повторюємо доти, поки чергова точка розташується правіше точки  $a$ . Через отримані точки проводимо тонку криву лінію, яка й буде лінією стиснення.

Побудова політропи розширення

Лінію розширення будуємо з точки  $z$  у тому ж самому порядку, але з використанням променя, проведеного під кутом  $\beta_1$  до осі ординат.

З'єднавши лініями розрахункові точки  $z(z')$  і  $c$ ,  $a$  і  $b$ , отримаємо, індикаторну діаграму розрахункового циклу.

Для побудови діаграми дійсного циклу на отриману діаграму необхідно нанести значення величин, що відповідають дійсному початку згоряння  $c'$  та випуску  $b'$  з використанням методу Брікса.

### 3.4 Побудова діаграми Брікса

За допомогою діаграми Брікса будується крива сил інерції мас, що виконують зворотно-поступальний рух, а пізніше і розгорнуті діаграми вказаних сил ( $P_j$ ), а також сил, що діють на поршень ( $P_r - P_o$ ).

Приклад побудови діаграми Брікса та кривої сил інерції мас, що виконують зворотно-поступальний рух наведено на рис. 5.5.

Для побудови діаграми Брікса безпосередньо під індикаторною діаграмою з центра розташованого під її серединою відрізка, який відповідає ходу поршня, радіусом, що дорівнює радіусу кривошипа, будуємо головне півколо.

З центра  $O$  головного півкола по горизонталі у напрямку НМТ відкладаємо відрізок

$$OO_1 = \frac{\lambda_{\text{КШМ}} R}{2}, \quad (2.13)$$

						ДП АІ 22.09.00.00 ПЗ	Арк.
							37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

де  $\lambda_{\text{КШМ}}$  - відношення радіуса кривошипа до довжини шатуна,  $\lambda_{\text{КШМ}} = 0,27$ :

$$OO_1 = \frac{0,27 \cdot 52}{2} = 7,02$$

Відрізок  $OO_1$  називається поправкою Ф. Брікса. Фізична суть поправки Ф. Брікса полягає в тому, що вона враховує, наскільки більше переміщення поршня при повороті кривошипа в першій чверті кола ( $\varphi = 0 \dots 90$  град. п.к.в. відносно ВМТ), в якій поршень проходить більше половини свого повного ходу, у порівнянні з переміщенням при повороті кривошипа в другій чверті кола ( $\varphi = 90 \dots 180$  град. п.к.в. відносно ВМТ), в якій поршень проходить менше половини свого повного ходу.

З центром у точці  $O_1$  тонкими лініями проводимо допоміжне півколо з таким самим радіусом. З точки  $O_1$  проводимо промені через 12 точок, що ділять допоміжне півколо на рівні частини (кути між променями також однакові) до перетину з головним півколом.

Точки перетину променів з головним півколом позначаємо від нуля до 48, починаючи з крайньої лівої. При цьому кожна точка має кілька номерів. Це обумовлено тим, що робочий процес чотиритактного двигуна відбувається за чотири ходи поршня між мертвими точками.

Отримане зображення називається діаграмою Брікса, яка враховує кінематичні особливості кривошипно-шатунного механізму (КШМ).

Для визначення на індикаторній діаграмі тиску, що відповідає заданому повороту кривошипа, відкладаємо заданий кут на півколі діаграми Брікса відносно точки  $O_1$  та спроектуємо отриману точку перетину відповідного променя і півкола на індикаторну діаграму.

Розташування точок  $c'$  і  $b'$  визначається кутами: випередження впорскування (запалювання) кут  $AO_1C'$  і початку відкриття випускного органу до НМТ кут  $BO_1B'$ .

					ДП АІ 22.09.00.00 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$$P_{J_{\text{ВМТ}}} = (1 + 0,27)318,75 \cdot 0,052 \cdot 230,383^2 \cdot 10^{-6} = 1,117 \text{ МПа}$$

2. При НМТ вгору відкладаємо силу інерції в точці  $D$

$$\begin{aligned} P_{J_{\text{НМТ}}} &= (1 - \lambda_{\text{КШМ}})m_j R \omega_{\text{н}}^2 10^{-6} = \\ &= (1 - 0,27)318,75 \cdot 0,052 \cdot 230,383^2 \cdot 10^{-6} = 0,642 \text{ МПа} \end{aligned}$$

3. Точки  $H$  і  $D$  з'єднуємо прямою. З точки  $E$  перетину цієї прямої з віссю абсцис відкладаємо вертикально вгору відрізок  $EE'$

$$\begin{aligned} EE' &= 3\lambda_{\text{КШМ}}m_j R \omega_{\text{н}}^2 10^{-6} = 3 \cdot 0,27 \cdot 318,75 \cdot 0,052 \cdot 230,383^2 \cdot 10^{-6} \\ &= 0,713 \end{aligned}$$

Точки  $E'$  з'єднуємо тонкою лінією з точками  $H$  і  $D$ . Для побудови кривої сил інерції, що являє собою вітку параболи, кожний з відрізків  $HE$  і  $E'D$  ділимо на однакове число рівних частин. Отримані точки нумеруємо в одному напрямку, починаючи з нуля.

Точки з однаковими номерами з'єднуємо прямими, всередині яких дотично до них проводимо криву сил інерції мас, що виконують зворотно-поступальний рух, віднесених до одиниці площі.

3.6 Побудова розгорнутих діаграм тиску від сил, що діють на поршень

Індикаторну діаграму та діаграму сил інерції, побудованих у координатах  $P - S$  перебудуємо в розгорнуті діаграми в координатах  $P - \varphi$ , де  $\varphi$  – кут повороту колінчатого вала.

Вісь абсцис розгорнутої діаграми розташуємо по горизонталі на рівні лінії  $P_0$  індикаторної діаграми, розбивши її попередньо на 48 рівних частин, які нумеруються, починаючи від нуля.

На розгорнутій діаграмі будуємо криві:

- а)  $(P_r - P_0)$  – надлишкового тиску газів;
- б)  $P_j$  – сили інерції мас, що виконують зворотно-поступальний рух;
- в)  $P_{\Sigma} = P_r \pm P_j$  – сумарних сил, що діють на поршень.

Перші дві криві одержуємо перенесенням відповідних відрізків із згорнутих діаграм. Їх вимірюємо на індикаторній діаграмі і діаграмі сил інерції у відповідних точках діаграми Ф. Брікса.

										ДП АІ 22.09.00.00 ПЗ	Арк.
											40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

Для зручності побудови точки, отримані на діаграмі Ф. Брікса, проектуємо тонкими лініями на індикаторну діаграму і криву сил інерції мас, що виконують зворотно-поступальний рух.

При цьому слід звернути увагу на те, що точки 1 – 12 на розгорнутій діаграмі Ф. Брікса відповідають точкам на кривій процесу впуску на індикаторній діаграмі, точки 12 – 24 – стиснення, точки 24 – 36 – робочому ходу, а точки 36 – 48 – випуску. Сили інерції для цих чотирьох процесів ті ж самі. Тобто вони повторюються 4 рази.

Крива сумарних сил, що діють на поршень  $P_{\Sigma}$  являє собою алгебраїчну суму ординат кривих  $P_r - P_0$  та  $P_j$ .

### 3.7 Сила інерції мас, що виконують обертальний рух

На шатунну шийку діє сила інерції мас (маса нижньої головки шатуна і частини стержня шатуна зосереджена на осі шатунної шийки в точці  $O_{ш}$ ), що виконують обертальний рух  $K_R$ :

$$K_R = m_{ш.к} \cdot R \cdot \omega_H^2 \cdot 10^{-6}, \quad (2.15)$$

де  $m_{ш.к}$  - маса нижньої частини шатуна

$$m_{ш.к} = (0,7 \dots 0,8)m_{ш} \approx 0,75 \cdot 250 = 187,5 \text{ кг/м}^2$$

$$K_R = 187,5 \cdot 0,052 \cdot 230,383^2 \cdot 10^{-6} = 0,517 \text{ МПа}$$

Сила  $K_R$  завжди направлена вздовж осі кривошипа від осі обертання колінчатого валу. Згідно з правилом знаків вона буде від'ємною.

## Розрахунок на міцність кривошипно-шатунного механізму

### Розрахунок поршня

Поршень служить для сприйняття навантаження від тиску газів, ущільнення камери згоряння й відводу тепла. Під час роботи двигуна поршень підлягає навантаженням від змінного тиску газів, дії сил інерції, а також сил тертя.

Розрахункова схема поршня показана на рисунку 2.3 вихідні дані до

										Арк.
										41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП АІ 22.09.00.00 ПЗ					

розрахунку приводяться в таблиці 2.3.

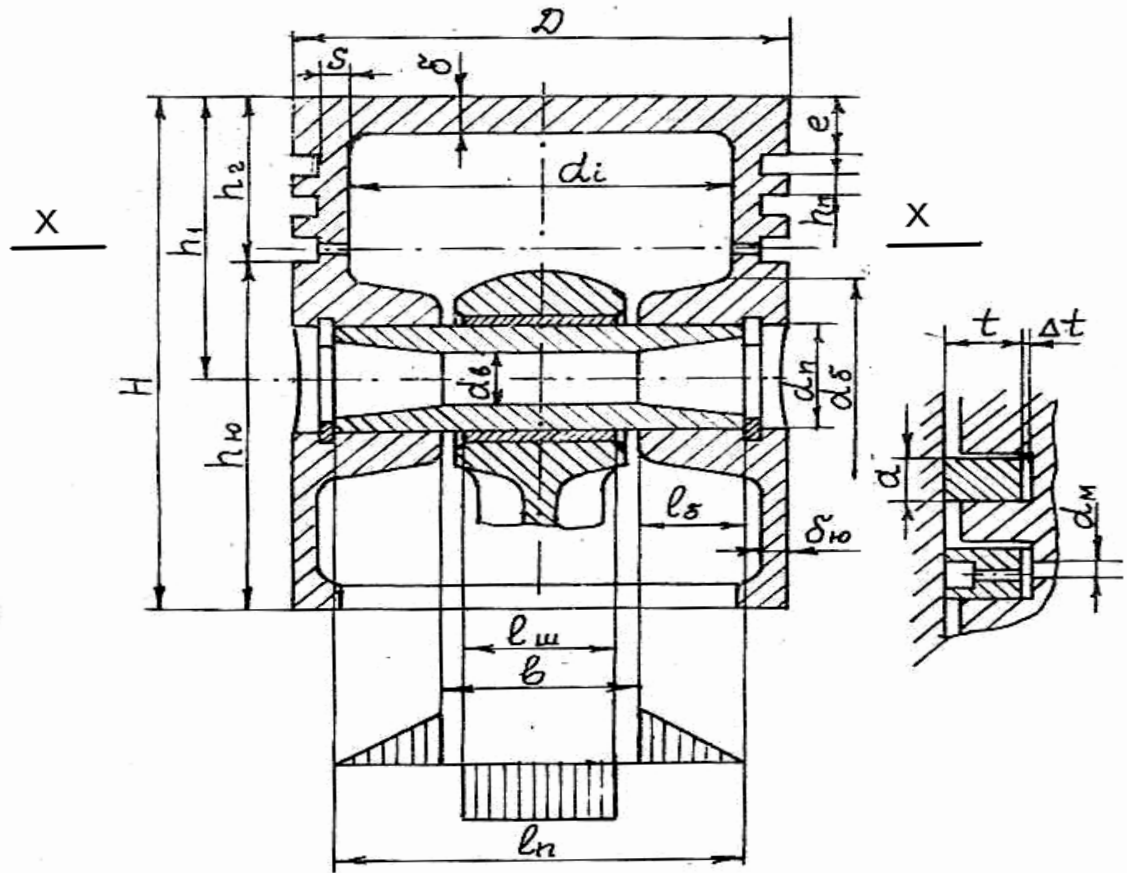


Рисунок 2.3 - Розрахункова схема поршня

Таблиця 2.5 - Вихідні дані для розрахунку поршневої групи

№	Найменування	Позначення	Значення	Одиниці виміру
1	Матеріал	АЛ-25		
2	Товщина днища поршня	$\delta$	13	мм
3	Висота поршня	H	143	мм
4	Висота верхньої частини поршня	h	78,5	мм
5	Висота спідниці поршня	$h_{ю}$	90	мм
6	Діаметр бобишки	$d_{\sigma}$	65,5	мм

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

ДП АІ 22.09.00.00 ПЗ

Арк.

42

7	Відстань між торцями бобишек		b	45	мм
8	Товщина стінки спідниці поршня		$\delta_{Ю}$	9	мм
9	Товщина стінки головки поршня		S	18,5	мм
10	Відстань до першої кільцевої канавки		e	18	мм
11	Товщина першої кільцевої перемички		$h_{П}$	7	мм
12	Радіальна товщина кільця	компресійного	t	5	мм
		маслозємного		4,5	мм
13	Висота кільця		a	3	мм
14	Радіальний зазор кільця в канавці поршня	компресійного	$\Delta t$	0,7	мм
		маслозємного		0,9	мм
15	Внутрішній діаметр поршня		$d_1$	72	мм
16	Число масляних отворів у поршні		n	8	шт
17	Діаметр масляного каналу		d	4	мм
18	Зовнішній діаметр пальця		$d_{П}$	42	мм
19	Внутрішній діаметр пальця		$d_{В}$	20	мм
20	Довжина пальця		$l_{П}$	102	мм
21	Довжина втулки шатуна		$l_{Ш}$	42	мм

### 5.1.1 Розрахунок поршня

Матеріал поршня - алюмінієвий сплав АЛ – 25 (ГОСТ 1583–93).

Напруга вигину в днищі поршня (МПа), розраховуємо по формулі:

$$\sigma_{из} = 0,25 \cdot P_z \cdot \left(\frac{d_1}{\delta}\right)^2 = 0,25 \cdot 12,0 \cdot \left(\frac{34}{13}\right)^2 = 82,083 \text{ МПа}, \quad (2.20)$$

де  $P_z = 12,0$  МПа - максимальний тиск циклу;

$\delta = 13,0$  мм – товщина днища поршня.

					ДП АІ 22.09.00.00 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Напруги вигину, що допускають, у днищі для алюмінієвих поршнів:

$$[\sigma_{II3}] = 50 \div 150 \text{ МПа.}$$

Крім напруг від сили тиску газу в днищі поршня, виникають теплові напруги через різницю температур внутрішньої й зовнішньої поверхонь, які мають істотне значення в охолоджуваних поршнях. Тому теплові напруги визначають тільки в днищах чавунних охолоджуваних поршнів. Стінка головки поршня перевіряється на стиск і розтягнення в перетині X - X , ослабленому отворами для відводу масла.

Напруга стиску:

$$\sigma_{СЖ} = \frac{P_{Z \max}}{F_{X-X}}; \quad (2.21)$$

$$P_{Z \max} = P_z \cdot F_n; \quad (2.22)$$

де  $P_{z \max}$  – максимальна сила тиску газів на днище поршня;

$F_{X-X}$  – площа перетину X-X.

$$F_{X-X} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_k^2 - d_1^2) - n_M \cdot F; \quad (2.23)$$

$$d_k = D - 2 \cdot (t + \Delta t), \quad (2.24)$$

$d_k$  – діаметр поршня по дну канавок, м;

$$F = \frac{d_k - d_1}{2} \cdot d_M, \quad (2.25)$$

$F$  – площа поздовжнього діаметрального перетину масляного каналу;

$n_M = 8$  – число масляних отворів;

$$d_M = 4 \text{ мм};$$

					ДП АІ 22.09.00.00 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$d_k = 120 - 2 \cdot (5,0 + 0,7) = 109 \text{ мм};$$

$$P_{Z_{\max}} = 12,0 \cdot 10^6 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,120^2}{4} = 0,136 \text{ МН};$$

$$F = \frac{109 - 72}{2} \cdot 4 = 0,000074 \text{ м}^2;$$

$$F_{X-X} = \frac{\pi}{4} \cdot (0,109^2 - 0,072^2) - 8 \cdot 0,000074 = 0,0046 \text{ м}^2;$$

$$\sigma_{\text{сж}} = \frac{0,136 \cdot 10^6}{0,0046} = 29,221 \text{ МПа} < [\sigma_{\text{сж}}] = 30 \div 40 \text{ МПа}.$$

Напряга розтягання в перетині Х-Х:

$$\sigma_P = \frac{P_j}{F_{X-X}}, \quad (2.26)$$

де  $P_j$  – сила інерції поступально-рухомих мас; визначається для режиму максимальної частоти обертання холостого ходу двигуна.

$$P_j = m_{X-X} \cdot R \cdot \omega_{\text{XX max}}^2 \cdot (1 + \lambda); \quad (2.27)$$

$$m_{X-X} = (0,4 \div 0,8) \cdot 3,1 = 0,6 \cdot 3,1 = 1,860 \text{ кг}, \quad (2.28)$$

де  $m_{X-X}$  – маса головки поршня з кільцями, розташована вище перетину Х-Х;

$$R = \frac{S}{2} = \frac{0,140}{2} = 0,070 \text{ м}, \quad (2.29)$$

					ДП АІ 22.09.00.00 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $R$  – радіус кривошипа;

$$\lambda = R/L = 0,70/0,250 = 0,28, \quad (2.30)$$

де  $\lambda$  – кінематичний параметр.

$$\omega_{\text{XX max}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{XX max}}}{30} = \frac{3,14 \cdot 2150}{30} = 225,147 \text{ c}^{-1}, \quad (2.31)$$

де  $\omega_{\text{XX max}}$  – максимальна кутова швидкість колінчатого вала на холостому ході.

$$P_j = 1,86 \cdot 0,070 \cdot 225,147^2 \cdot (1 + 0,28) = 7241,0 \text{ Н};$$

$$\sigma_p = \frac{7241,0}{0,0046} = 1,559 \text{ МПа} < [\sigma] = 4 \dots 10 \text{ МПа}.$$

Верхня кільцева перемичка розраховується на зріз і вигин від дії максимальної сили тиску газів  $P_z$ . Перемичка розглядається як кільцева пластина, затиснена по окружності основанні канавки діаметром  $d_k = 109$  мм і рівномірно навантажена по площі  $F_{\text{КП}}$  силою  $P_K$ :

$$F_{\text{КП}} = \frac{\pi \cdot (D^2 - d_k^2)}{4} = \frac{\pi \cdot (0,120^2 - 0,109^2)}{4} = 1,978 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \quad (2.32)$$

$$P_K = 0,9 \cdot P_z \cdot F_{\text{КП}} = 0,9 \cdot 12,0 \cdot 10^6 \cdot 1,978 \cdot 10^{-3} = 21,366 \text{ кН}. \quad (2.33)$$

Напруга зрізу кільцевої перемички:

$$\tau = 0,0314 \cdot P_z \cdot \frac{D}{h_{\text{II}}} = 0,0314 \cdot 12,0 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,120}{0,007} = 6,459 \text{ МПа}. \quad (2.34)$$

Напруга вигину в основанні перемички:

					ДП АІ 22.09.00.00 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sigma_{\text{из}} = 0,0045 \cdot P_z \cdot \left( \frac{D}{h_{\text{п}}} \right)^2 = 0,0045 \cdot 12,0 \cdot \left( \frac{0,120}{0,007} \right)^2 = 15,869 \text{ МПа.} \quad (2.35)$$

Складна напруга по третій теорії міцності:

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sigma_{\text{из}}^2 + 4 \cdot \tau^2} = \sqrt{15,869^2 + 4 \cdot 6,459^2} = 20,463 \text{ МПа.} \quad (2.36)$$

Напруги у верхніх кільцевих перемичках не перевищує рівень  $[\sigma_{\Sigma}] = 30 \div 40$  МПа. Опорна поверхня всього поршня й спідниці перевіряється на питомий тиск відповідно по рівняннях:

$$q_1 = \frac{N_{\text{max}}}{h_{\text{ю}} \cdot D} = \frac{10436}{0,09 \cdot 0,12} = 0,966 \text{ МПа;} \quad (2.37)$$

$$q_2 = \frac{N_{\text{max}}}{H \cdot D} = \frac{10436}{0,143 \cdot 0,12} = 0,608 \text{ МПа,} \quad (2.38)$$

де  $N_{\text{max}}$  – найбільша нормальна сила, що діє на стінку циліндра при роботі двигуна на режимі максимальної потужності.

Величину  $N_{\text{max}}$  визначаємо з динамічного розрахунку  $N_{\text{max}} = 10,436$  кН.

Для сучасних автотракторних двигунів допускається:

$$[q_1] = 0,3 \div 1,5 \text{ МПа;} \quad (2.39)$$

$$[q_2] = 0,2 \div 0,7 \text{ МПа.}$$

Розміри діаметрів головки і юбці поршня перевіряють по формулах

$$D_{\Gamma} = D - \Delta_{\Gamma} = 0,120 - 0,00011 = 0,11928 \text{ м;} \quad (2.39)$$

$$D_{\text{ю}} = D - \Delta_{\text{ю}} = 0,120 - 0,00001 = 0,11976 \text{ м,} \quad (2.40)$$

					ДП АІ 22.09.00.00 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

( $\Delta_{\Gamma}$ ,  $\Delta_{Ю}$  – зазори по головці й юбці в холодному стані, за статистичним даними приймаємо для алюмінієвих поршнів  $\Delta_{\Gamma} = 0,00072$  м,  $\Delta_{Ю} = 0,00024$  м):

$$\Delta'_{\Gamma} = D \cdot [1 + \alpha_{\text{ц}} \cdot (t_{\text{ц}} - t_0)] - D_{\Gamma} \cdot [1 + \alpha_{\text{п}} \cdot (t_{\Gamma} - t_0)]; \quad (2.41)$$

$$\Delta'_{Ю} = D \cdot [1 + \alpha_{\text{ц}} \cdot (t_{\text{ц}} - t_0)] - D_{Ю} \cdot [1 + \alpha_{\text{п}} \cdot (t_{\Gamma} - t_0)], \quad (2.42)$$

де  $\Delta'_{\Gamma}$ ,  $\Delta'_{Ю}$  – діаметральні зазори в гарячому стані відповідно між стінкою циліндра й головкою поршня й між стінкою циліндра й спідницею поршня;

$\alpha_{\text{ц}}$ ,  $\alpha_{\text{п}}$  – коефіцієнти лінійного розширення матеріалів циліндра й поршня;

$\alpha_{\text{ц}} = 11 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  – для чугунної гильзы;

$\alpha_{\text{п}} = 25 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  – для алюмінієвого поршня;

$t_{\text{ц}}$ ,  $t_{\Gamma}$ ,  $t_{Ю}$  – відповідно температури стінок циліндра, головки й спідниці поршня.

Для розрахунку приймаємо:

$$t_{\text{ц}} = 115^{\circ} \text{C}; t_{\Gamma} = 300^{\circ} \text{C}; t_{Ю} = 190^{\circ} \text{C}; t_0 = 15^{\circ} \text{C};$$

$$\Delta'_{\Gamma} = 0,120 \cdot [1 + 11 \cdot 10^{-6} \cdot (115 - 15)] - 0,11928 \cdot [1 + 25 \cdot 10^{-6} \cdot (300 - 15)] = 0,00011 \text{ м};$$

$$\Delta'_{Ю} = 0,120 \cdot [1 + 11 \cdot 10^{-6} \cdot (115 - 15)] - 0,11928 \cdot [1 + 25 \cdot 10^{-6} \cdot (155 - 15)] = 0,00001 \text{ м}.$$

Поршень надійно працює, якщо за умови:

$$\Delta'_{\Gamma} = 2,4 \cdot 10^{-4} \div 3 \cdot 10^{-4} \text{ м};$$

$$\Delta'_{Ю} = 6 \cdot 10^{-5} \div 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}.$$

Розрахунок поршневих кілець

Поршневі кільця працюють в умовах високих температур і значних

					<i>ДП АІ 22.09.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

змінних навантажень. Для виготовлення кілець використовуються сірий і легований чавун.

Розрахунок кільця включає наступне: визначення середнього тиску кільця на стінку циліндра, визначення напруг вигину, що виникають у перетині, протилежному замку при надяганні кільця на поршень й у робочому стані, а також, установлення монтажних зазорів.

Середній тиск кільця на стінку циліндра:

$$P_{CP} = \frac{0,152 \cdot E \cdot A_0 / t}{(D/t - 1)^3 \cdot D/t}, \quad (2.43)$$

де  $E = 1 \cdot 10^5$  МПа – модуль пружності матеріала кільця (сірий чавун);

$A_0/t$  – відношення різниці між величинами зазорів у вільному стані й робочому стані до радіальної товщини кільця;

$A_0/t = (2,5 \div 4,0)$ , приймаємо  $A_0/t = 3,0$ .

$$P_{CP} = \frac{0,152 \cdot 1 \cdot 10^5 \cdot 3,0}{\left(\frac{0,120}{0,005} - 1\right)^3 \cdot \frac{0,120}{0,005}} = 0,156 \text{ МПа.}$$

Середній радіальний тиск становить:

- для компресійних кілець –  $P_{CP} = 0,11 \div 0,37$  МПа;
- для маслосмазочних кілець –  $P_{CP} = 0,2 \div 0,4$  МПа.

Для забезпечення гарного приробляння кільця й надійного ущільнення тиск кільця в різних крапках окружності повинне змінюватися по епюрі (рисунки 4.2), побудованої за даними таблиці 4.3.

Тиск кільця на стінку циліндра в різних крапках окружності

$$P = P_{CP} \cdot \mu_{до}, \quad (2.44)$$

де  $\mu_{до}$  – для різних кутів  $\varphi$  узятий з таблиці

Коефіцієнт корекції епюри тиску поршневого пальця

					ДП АІ 22.09.00.00 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$$\sigma_{\text{ИЗ}_2} = \frac{4 \cdot 1 \cdot 10^5 \cdot (1 - 0,114 \cdot 3,0)}{1,57 \cdot \left( \frac{0,120}{0,005} - 1,4 \right) \cdot \frac{0,120}{0,005}} = 309,077 \text{ МПа.}$$

Напруга вигину кільця в робочому стані:

$$\sigma_{\text{ИЗ}_1} = 2,61 \cdot P_{\text{CP}} \cdot \left( \frac{D}{t} - 1 \right)^2 = 2,61 \cdot 0,156 \cdot \left( \frac{0,120}{0,005} - 1 \right)^2 = 215,609 \text{ МПа} < [\sigma_{\text{ИЗ}}] = 450 \text{ МПа.} \quad (2.46)$$

Напруга  $\sigma_{\text{ИЗ}_2}$  більше від напруги  $\sigma_{\text{ИЗ}_1}$  на  $10 \div 30 \%$ .

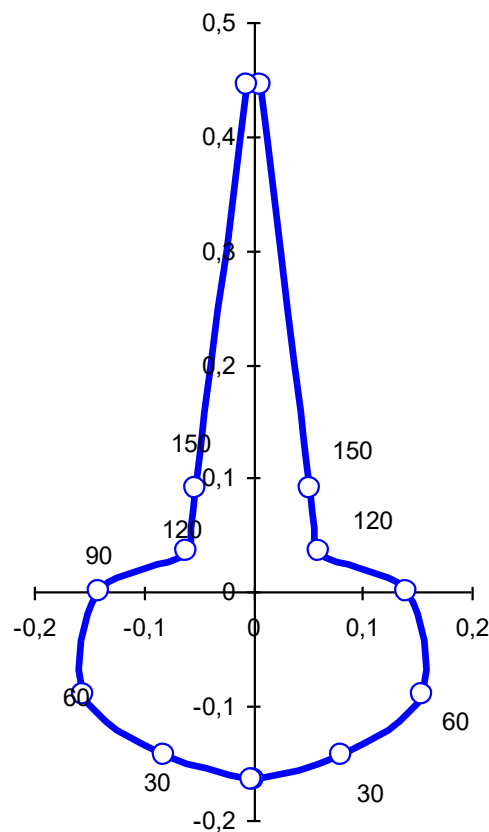


Рисунок 2.5 – Годограф навантажень на поршневе кільце

Монтажний зазор у прямому замку поршневого кільця в холодному стані:

$$\Delta_K = \Delta'_K + \pi \cdot D \cdot [\alpha_K \cdot (t_K - t_0) - \alpha_{\text{Ц}} \cdot (t_{\text{Ц}} - t_0)], \quad (2.47)$$

де  $\Delta'_{\text{ДО}} = 0,06 \div 0,10$  мм – мінімальний припустимий зазор у замку кільця

					ДП АІ 22.09.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

під час роботи двигуна. Приймаємо  $\Delta_{до}' = 0,08$  мм.

$\alpha_{до} = \alpha_{ц} = 11 \cdot 10^{-6}$  град<sup>-1</sup> – коефіцієнт лінійного розширення для чавунної гільзи та кільця;

$t = 225$  °С - температура кільця;

$t_{ц} = 115$  °С - температура стінки циліндра;

$t_0 = 15$  °С .

$$\Delta_K = 0,08 + \pi \cdot 120 \cdot [11 \cdot 10^{-6} \cdot (225 - 15) - 11 \cdot 10^{-6} (115 - 15)] = 0,536 \text{ мм.}$$

Розрахунок поршневого пальця

Поршневий палець працює при знакозмінному навантаженні, що різко змінює умови для забезпечення надійного змащення. Матеріал пальця – Сталь 15Х.

Максимальні напруги в пальцях дизельних двигунів виникають при роботі на номінальному режимі.

Розрахункова сила, що діє на поршневий палець:

$$P = P_Z \cdot F_{II} - K \cdot P_{II}, \quad (2.48)$$

де  $P_Z$  – максимальний тиск газів на номінальному режимі:  $P_Z = 12,0 \cdot 10^6$  Па;

$P_{II}$  – сила інерції поршневої групи при  $n = n_m = 2000$  хв<sup>-1</sup>,

$$P_{II} = -m_{II} \cdot \omega_M^2 \cdot R \cdot (1 + \lambda); \quad (2.49)$$

$$P_{II} = -3,1 \cdot 209,44^2 \cdot 0,07 \cdot (1 + 0,28) = -12183,92 \text{ Н.}$$

$K = 0,68 \dots 0,81$  – коефіцієнт, що враховує масу поршневого пальця, приймаємо  $K = 0,72$ .

$$P = 12,0 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,120^2 \cdot 3,14}{4} - 0,72 \cdot 12183,92 = 126944,38 \text{ Н.}$$

Питомий тиск пальця на втулку поршневої головки шатуна:

									Арк.
									52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП АІ 22.09.00.00 ПЗ				

$$q_{ш} = \frac{P}{d_{п} \cdot l_{ш}} = \frac{126944,38}{0,042 \cdot 0,042} = 71,964 \text{ МПа}, \quad (2.50)$$

Для сучасних автотракторних двигунів  $q_{ш} = 20 \div 80$  МПа.

Питомий тиск пальця на бобишки поршня (визначається для плаваючого пальця):

$$q_{б} = \frac{P}{d_{п} \cdot (l_{п} - b)} = \frac{126944,38}{0,042 \cdot (0,102 - 0,045)} = 53,026 \text{ МПа}, \quad (2.51)$$

Для сучасних автомобільних і тракторних двигунів  $q_{б} = 15 \div 60$  МПа.

Напруга вигину пальця за умови розподілу навантаження по довжині пальця:

$$\begin{aligned} \sigma_{из} &= \frac{P \cdot (l_{п} + 2 \cdot b - 1,5 \cdot l_{ш})}{1,2 \cdot (1 - \alpha^4) \cdot d_{п}^3} = \\ &= \frac{126944,38 \cdot (0,102 + 2 \cdot 0,045 - 1,5 \cdot 0,045)}{1,2 \cdot (1 - 0,476^4) \cdot 0,042^3} = 56,0 \text{ МПа}, \end{aligned} \quad (2.52)$$

де  $\alpha = \frac{d_{в}}{d_{п}} = \frac{20}{42} = 0,476$  – відношення внутрішнього діаметра пальця до

зовнішнього діаметра.

Для автотракторних двигунів  $[\sigma_3] = 100 \div 260$  МПа.

Дотичні напруження зрізу пальця в перетинах між бобишками й головкою шатуна:

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{0,85 \cdot P \cdot (1 + \alpha + \alpha^2)}{(1 - \alpha^4) \cdot d_{п}^2} = \\ &= \frac{0,85 \cdot 126994,38 \cdot (1 + 0,476 + 0,476^2)}{(1 - 0,476^4) \cdot 0,042^2} = 109,815 \text{ МПа}. \end{aligned} \quad (2.53)$$

										Арк.
										53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП АІ 22.09.00.00 ПЗ					

Для автотракторних двигунів  $[\tau] = 60 \dots 250$  МПа.

Внаслідок нерівномірного додатка сил до пальця, при роботі двигуна перетин пальця овалізується, що викликає при цьому напруги які мають різні значення по довжині пальця і його перетину. При складанні розрахункової схеми приймається синусоїдальний розподіл навантаження по поверхні пальця.

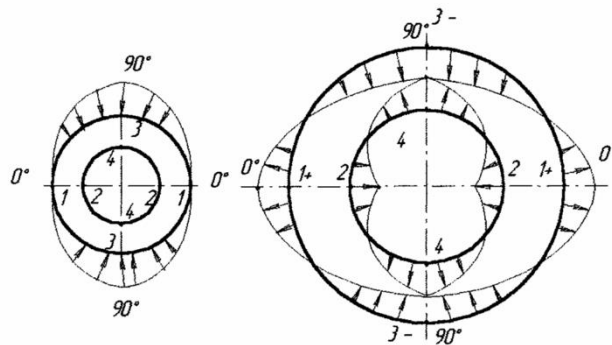


Схема навантаження й деформації поршневого пальця:

а) розподіл навантаження; б) епюри навантаження

Максимальна овалізація пальця (найбільше збільшення горизонтального діаметра) має місце в середній, найбільш напруженій частини пальця. Її величина визначається по формулі:

$$\Delta d_{П\max} = \frac{1.35 \cdot P}{E \cdot l_{П}} \cdot \left( \frac{1+\alpha}{1-\alpha} \right)^3 \cdot \left[ 0,1 - (\alpha - 0,4)^3 \right] = \quad (2.54)$$

$$= \frac{1,35 \cdot 126994,38}{2,2 \cdot 10^5 \cdot 0,102 \cdot 10^6} \cdot \left( \frac{1+0,476}{1-0,476} \right)^3 \cdot \left[ 0,1 - (0,476 - 0,4)^3 \right] = 0,017 \text{ мм},$$

де  $E = 2,2 \cdot 10^5$  МПа – модуль пружності сталі (матеріалу пальця).

Значення  $\Delta d_{П\max}$  не повинне перевищувати 0,02...0,05 мм.

Напруги, що виникають при овалізації пальця визначаються по формулах:

- на зовнішній поверхні пальця в горизонтальній площині (крапки 1 при

										ДП АІ 22.09.00.00 ПЗ	Арк.
											54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

$\psi = 0^\circ$ ):

$$\begin{aligned} \sigma_{\alpha 0^\circ} &= \frac{15 \cdot P}{l_{II} \cdot d_{II}} \cdot \left[ \frac{0,19 \cdot (2 + \alpha) \cdot (1 + \alpha)}{(1 - \alpha)^2} - \frac{1}{1 - \alpha} \right] \cdot [0,1 - (\alpha - 0,4)^3] = \\ &= \frac{15 \cdot 126994,38}{0,102 \cdot 0,042} \cdot \left[ \frac{0,19 \cdot (2 + 0,476) \cdot (1 + 0,476)}{(1 - 0,476)^2} - \frac{1}{1 - 0,476} \right] \cdot [0,1 - (0,476 - 0,4)^3] = 275,311 \text{ МПа}. \end{aligned} \quad (2.55)$$

- на зовнішній поверхні пальця у вертикальній площині (крапки 3 при  $\psi = 90^\circ$ ):

$$\begin{aligned} \sigma_{\alpha 90^\circ} &= \frac{15 \cdot P}{l_{II} \cdot d_{II}} \cdot \left[ \frac{0,174 \cdot (2 + \alpha) \cdot (1 + \alpha)}{(1 - \alpha)^2} - \frac{0,636}{1 - \alpha} \right] \cdot [0,1 - (\alpha - 0,4)^3] = \\ &= \frac{15 \cdot 126994,38}{0,102 \cdot 0,042} \cdot \left[ \frac{0,174 \cdot (2 + 0,476) \cdot (1 + 0,476)}{(1 - 0,476)^2} - \frac{0,636}{1 - 0,476} \right] \cdot [0,1 - (0,476 - 0,4)^3] = \\ &= -162,164 \text{ МПа}. \end{aligned} \quad (2.56)$$

- на внутрішній поверхні пальця в горизонтальній площині (крапки 2 при  $\psi = 0^\circ$ ):

$$\begin{aligned} \sigma_{i 0^\circ} &= \frac{15 \cdot P}{l_{II} \cdot d_{II}} \cdot \left[ \frac{0,19 \cdot (1 + 2 \cdot \alpha) \cdot (1 + \alpha)}{(1 - \alpha)^2 \cdot \alpha} + \frac{1}{1 - \alpha} \right] \cdot [0,1 - (\alpha - 0,4)^3] = \\ &= \frac{15 \cdot 126994,38}{0,102 \cdot 0,042} \cdot \left[ \frac{0,19 \cdot (1 + 2 \cdot 0,476) \cdot (1 + 0,476)}{(1 - 0,476)^2 \cdot 0,476} + \frac{1}{1 - 0,476} \right] \cdot [0,1 - (0,476 - 0,4)^3] = \\ &= -280,059 \text{ МПа}. \end{aligned} \quad (2.57)$$

- на внутрішній поверхні пальця у вертикальній площині (крапки 4 при  $\psi$

					ДП АІ 22.09.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

= 90°):

$$\begin{aligned}\sigma_{i90^\circ} &= \frac{15 \cdot P}{l_{II} \cdot d_{II}} \cdot \left[ \frac{0,174 \cdot (1+2 \cdot \alpha) \cdot (1+\alpha)}{(1-\alpha)^2 \cdot \alpha} - \frac{0,636}{1-\alpha} \right] \cdot [0,1 - (\alpha - 0,4)^3] = \\ &= \frac{15 \cdot 126994,38}{0,102 \cdot 0,042} \cdot \left[ \frac{0,174 \cdot (1+2 \cdot 0,476) \cdot (1+0,476)}{(1-0,476)^2 \cdot 0,476} - \frac{0,636}{1-0,476} \right] \cdot [0,1 - (0,476 - 0,4)^3] = \\ &= 120,467 \text{ МПа.}\end{aligned}$$

(2.58)

Найбільші напруження діють на внутрішній поверхні пальця в горизонтальній площині. Вона не перевищує 300МПа, що допустимо.

					ДП АІ 22.09.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

### 3. ОХОРОНА ПРАЦІ

Заходи по збереженню безпеки життя та здоров'я можуть бути поділені на такі основні підгрупи:

організаційні - заходи по своєчасному обслуговуванню обладнання дільниці для підтримання їх в технічно-справному стані; забезпечення робітників спецодягом та індивідуальними засобами захисту, пам'ятками та інструкціями з техніки безпеки; - заходи по поліпшенні умов праці - нормалізація вологості в дільниці,

ліквідація - протягів; зниження запыленості та загазованості повітря, поліпшення освітленості робочих місць, зниження шумів та вібрацій;

удосконалення техніки безпеки - передбачає поліпшення огорож, огляд та випробування парових котлів, повітрязабірників та вентиляційних засобів, встановлення запобіжних засобів, утримання інструменту та пристроїв у технічно справному стані, забезпечення надійності індивідуальних засобів захисту.

Усі вище перелічені заходи з техніки безпеки повинні мати місце під час функціонування майстерні, проводитися належним чином та в установлені строки.

Основні заходи протипожежної безпеки зводяться до:

встановлення і дотримання протипожежного режиму; забезпечення дільниці первинними засобами пожежогасіння; проведення контролю за станом електрообладнання та заземлення.

У майстерні повинні бути встановлені спеціальні сигналізатори пожежі та різноманітні заходи її попередження.

Майстерня повинна бути забезпечена протипожежними обладнанням та інвентарем, в число яких входять вогнегасники, ящики з піском, відра тощо.

					ДП АІ 22.09.00.00 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Інвентар розміщується на різних ділянках майстерні в пожежо-небезпечних місцях. Для розміщення протипожежного інвентарю використовують дерев'яні щити, пофарбовані в червоний колір.

Усе електрообладнання повинне бути заземленим та обладнане засобами протипожежної безпеки. Необхідно своєчасно та у встановлені періоди проводити перевірку та обслуговування електропроводки, електрообладнання та засобів заземлення.

Вентиляційне обладнання відділення центральної ремонтної майстерні призначене для видалення газів, парів, пилю, а також різних шкідливих речовин, які з'являються в процесі виробництва.

Вентиляція відділення може бути природною і механічною. Для ковальсько-зварювальної ділянки застосовуємо природну і механічну вентиляцію, адже кратність обміну повітря (число, що показує скільки разів повинен відбутися обмін повітря в приміщенні за одну годину)  $K = 2-4$ , і в приміщенні утворюються шкідливі випаровування, а на одного робітника припадає понад 50 м повітря. Вентиляція буде здійснюватися через наскрізне природне провітрювання і механічну вентиляцію.

Площа перерізу фрамуг або квартирок  $F_k$  приймаємо в розрізі 4% від площі підлоги  $F_d$ .

$$F_k = 0,02 \cdot F_d, \quad (3.1)$$

$$F_k = 0,02 \cdot 48 = 0,96$$

Прийнявши довжину  $a = 0,8$  м, висоту  $h = 0,4$  м, визначаємо площу однієї квартирки ( $f_k$ ), м<sup>2</sup>;

$$f_k = a \cdot h, \quad (3.2)$$

$$f_k = 0,4 \cdot 0,8 = 0,32$$

					ДП АІ 22.09.00.00 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розраховуємо кількість квартирок ( $n_k$ ):

$$n_k = \frac{F_k}{f_k}, \quad (3.3)$$

$$n_k = \frac{0,96}{0,32} = 3$$

Розраховуємо кубатуру ділянки ( $V_d$ ) за формулою

$$V_d = F_d \cdot h, \quad (3.4)$$

$$V_d = 48 \cdot 4,2 = 201,6 \text{ м}^3$$

Визначаємо продуктивність Припливного - витяжного вентилятора ( $W_v$ )  $\text{м}^3/\text{год}$

$$W_v = V_d \cdot K, \quad (3.5)$$

$$W_v = 201,6 \cdot 5 = 1008 \text{ м}^3 / \text{год}$$

Приймаємо відцентрований вентилятор серії ЕВД-3, частота обертання якого 1000 обертів на хвилину, напір вентилятора 26  $\text{кг}/\text{м}^3$ , ККД 53%, експлуатується з двигуном А-41-6

					ДП АІ 22.09.00.00 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

Дипломний проект присвячений механізації на свинофермі. В роботі наведено технологію виробничих процесів свиновідгодівельної ферми. Зокрема проведено розрахунки структури стада, способу утримання тварин, добові потреби в кормах, визначено машини і обладнання для технологічної лінії та проведено їх розрахунок. Також наведено розрахунки з механізації роздавання кормів. В якості енергетичного модуля було обрано універсальний трактор тягового класу 0,9, прототипом було обрано трактор Т-40. Проведено основні розрахунки параметрів енергетичного модуля, зокрема тепловий та динамічний розрахунок двигуна, розрахунок елементів кривошипно-шатунного механізму на міцність. Наведено розрахунки з охорони праці.

					ДП АІ 22.09.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

## ЛІТЕРАТУРА

1. Курской В.С. Трактори і автомобілі. Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт / В.С. Курской, В.П.Олександренко, М.С. Стечишин, – Хмельницький: ХНУ, 2020. – 76 с.
2. Трактори та автомобілі. Ч. 3. Шасі: Навч. посібник / А.Т. Лебедев, В.М. Антощенко, М.Ф. Бойко та ін.; За ред. проф. А.Т. Лебедева. — К.: Вища освіта, 2004. — 336 с.: іл.
3. Трактори і автомобілі: Навчальний посібник / В.С.Бучок. – К.: Аграрна освіта, 2008. – 331 с.
4. Калашников А.Г. та ін. Експлуатація і ремонт машинно-тракторного парку (курсове і дипломне проектування). - К.: Вища школа, 1983, 360 с.
5. Агулов п. та ін. довідник по технічному обслуговуванню сільськогосподарських машин. - к.: урожай, 1989, 256 с.
6. Егоров Я.А. Методические указания к курсовому проекту на тему: «Тепловой и динамический расчет ДВС» по дисциплине «Теория двигателей внутреннего сгорания» для студентов специальности 7.090210 «Двигатели внутреннего сгорания» дневной и заочной форм обучения [Текст] /сост. Я.А. Егоров, Н. Е. Рябошапка. – Запорожье, 2003. – 55 с.
7. Савчук О.М. Охорона праці у галузі: Конспект лекцій та методичні вказівки з виконання контрольних робіт для студентів технічних вузів [Текст] / Укл.: О.М. Савчук. – Запоріжжя: Просвіта, 2003. – 164 с.

					ДП АІ 22.09.00.00 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		