

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

ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ

Бакалавр

Рівень вищої освіти

Підвищення паливної ефективності трактора МТЗ-82 заміною
атмосферного двигуна турбокомпресорним

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, _____ Якубець В.В.

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

Прізвище, ініціали, посада, науковий

ступінь

ступінь

Підпис

Підпис

До захисту допускаю: зав. кафедрою _____ Мартинюк А.В.

Підпис

Прізвище

Хмельницький 2022

ЗМІСТ

ВСТУП.	3
1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА РОЗРОБКИ	4
2. РОЗРАХУНОК ЕНЕРГЕТИЧНОГО ЗАСОБУ	8
3. ОХОРОНА ПРАЦІ	41
ВИСНОВКИ.....	44

					<i>КП АІ 22.19.00.00 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Якубець</i>				Підвищення паливної ефективності трактора МТЗ-82 заміною атмосферного двигуна турбокомпресорним	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Курской</i>					2	1	
<i>Реценз.</i>						<i>АІ-18-1</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>								

ВСТУП.

Незважаючи на стрімкий розвиток енергетичних машин аграрної галузі України в господарствах по сьогоднішній день залишається значна кількість тракторів та агрегатів, технічні характеристики яких не відповідають умовам сьогодення. Серед таких засобів чільне місце посідають трактори марки МТЗ-82. Їхні експлуатаційні властивості дозволяють широко використовувати дану модель в господарстві. Проте за своїми економічними, екологічними та експлуатаційними характеристиками не відповідає сучасним вимогам. Одним з шляхів підвищення ефективності є удосконалення двигуна з позицій економічності та потужності. Варіантом модернізації є збільшення циклової кількості палива та ефективності його згоряння за рахунок наддуву повітря турбокомпресором. Турбокомпресор на сьогодні є одним з найефективніших методів підвищення потужності та крутного моменту двигуна внутрішнього згорання не змінюючи його геометричні характеристики та конструкцію. Використання наддуву дає змогу підвищити потужність двигуна до 30 % . Тому їх використання набуває все більшого розповсюдження і на даний час ступінь оснащення двигунів агрегатами наддуву становить 70 %. Метою роботи є розрахунок основних параметрів модернізованого методом встановлення турбокомпресора двигуна Д-240.

					КП АІ 22.19.00.00 ПЗ	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА РОЗРОБКИ

МТЗ-82 - марка універсально-просапних колісних тракторів, що випускаються Мінським тракторним заводом з 1974 року. Трактори МТЗ-82 є глибокою модернізацією тракторів МТЗ-52, що випускалися раніше. Ступінь уніфікації деталей та складальних одиниць у цих тракторів досягає 70%. Трактор виконаний за традиційним для свого сімейства компонованням: напіврамна конструкція з несучими картерами вузлів трансмісії, переднє розташування двигуна, задні ведучі колеса збільшеного діаметра, передні напрямні колеса зменшеного діаметра, повний привід.

На тракторах МТЗ-80 встановлюються чотирициліндрові чотиритактні дизельні двигуни сімейства Д-240 виробництва Мінського моторного заводу, трансмісія механічна, муфта зчеплення суха, однодискова, замкнута. Коробка передач дев'ятиступінчаста двох діапазонна з понижувальним редуктором. Загальна інформація про трактор наведена в таблиці 1

Трактори випускалися і випускаються в кількох модифікаціях, що відрізняються один від одного типом і передавальними числами трансмісії, способом пуску двигуна, місцями прив'язки для навісного обладнання та зовнішнім оформленням, типом гуми, величиною агротехнічного просвіту, установкою систем, що забезпечує роботу на крутих схилах.

На тракторах МТЗ-82 встановлюються чотирициліндрові-чотирьохтактні дизельні двигуни сімейства 4Ч11/12,5 виробництва Мінського моторного заводу з напіврозділеною камерою згоряння, виконаної в поршні, рідинного охолодження, на частини двигунів встановлювався передпусковий підігрівач ПБ. Робочий об'єм двигуна – 4,75 л. Номінальна потужність 59,25 кВт (80 к.с.), у первинному варіанті 55,16 кВт (75 к.с.). Запуск двигуна здійснюється електростартером (модифікації Д-240/243Л), або пусковим двигуном ПД-10 (модифікації Д-240Л/243Л), номінальною потужністю 10 л, з блокуванням пуску при включеній передачі.

					КП АІ 22.19.00.00 ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1 – Загальна інформація про трактор МТЗ-82

Проект, м. Київ	1972
Випускався, роки	1974 – н.ч.
Виробник	Мінський тракторний завод
Призначення	Універсально-просапний
Тип рушія	колiсний
Тяговий клас, тс	1,4
Транспортна швидкість, км/год	33
Повна маса, т	3,6
Розташування	
Кабіна:	ззаду (закрита, вентилярована)
Двигун:	переднє
Основні розміри	
Довжина, мм	3810
Ширина, мм	1970
Висота, мм	2470
Дорожній (агротехнічний) просвіт, мм	465
Двигун	
Позначення за ГОСТ	4Ч11/12,5
Марка двигуна	Д-240
Потужність, л.с. (кВт)	80 (58,8)
Трансмісія	
Тип трансмісії	механічна
Число передач вперед/назад	18/4 або 16/8
Підвіска та управління	
Тип підвіски	спереду – балансірна, ззаду – жорстка
Спосіб керування поворотом	передніми колесами
Гальма	дискові гальма задніх колiс роздiльно керовані
Обладнання	
Гiдра обладнання	роздiльно-агрегатна система: гiдронасос, золотниково-клапанний трьох секційний розподiльник, силовий та позиційний регулятор, задній гiдроциліндр, гiдра збiльшувач зчiпної ваги
Пневмо обладнання	компресор та клапан розподiльник для забезпечення роботи гальм причепа (на частині тракторів)

Трактори МТЗ-82 комплектуються лише механічною трансмісією. Муфта зчеплення суха, однодискова, постійно замкнута. Коробка передач дев'ятиступінчаста дводіапазонна з понижувальним редуктором. Кількість передач 18 уперед, 4 тому. Є можливість встановлення ходозменшувача. На частини тракторів, випущених після 1985 року, встановлюється гідрокерована коробка передач з перемиканням під навантаженням. Така коробка дозволяє вибирати будь-яку з 4-х передач у межах кожного з чотирьох діапазонів швидкостей без вимкнення муфти зчеплення. Задній міст має диференціал із функцією блокування. Управління блокуванням на тракторах старого зразка механічне за допомогою педалі, розташованої на підлозі кабіни. На тракторах пізніших випусків гідравлічне. Під приладовою панеллю встановлено перемикач режимів, зв'язаний із кермовим механізмом.

Таблиця 2 – Характеристики трансмісії трактора МТЗ 82

Муфта зчеплення	суха, однодискова
Коробка передач	механічна (з редуктором, що подвоює число передач)
Кількість передач: вперед/назад	18/4
Швидкості руху, км/год:	
вперед	1,89-33,4
назад	3,98-8,97
Задній ВВП:	незалежний двошвидкісний з гідромеханічною системою керування
незалежний I, об/хв	570
незалежний II, об/хв	1000
синхронний, об/м шляху	3,5

Підвіска задніх коліс – жорстка. Передні колеса мають напівжорстку підвіску з балансирним мостом. Задні колеса закріплюються на ведучих осях за допомогою клемових з'єднань, що дозволяє безступінчасто змінювати ширину колії в межах 1400-2100 мм. Колія передніх коліс також регулюється в межах 1200-1800, але ступінчасто, з кроком 100 мм. Дорожній просвіт 465

					КП АІ 22.19.00.00 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мм для основних модифікацій, 650 мм, для модифікацій обладнаних колісними редукторами, та 400 мм, для модифікації МТЗ-82Н. Гальмівні механізми дискові. Управління поворотом - передні колеса. Є гідروпідсилювач кермового керування.

Трактор обладнаний роздільно-агрегатною гідравлічною системою, що включає шестерний насос НШ-32, що приводиться від двигуна, трьох секційний золотниково-клапанний гідророзподільник, гідроциліндр управління навісним плугом.

Таким чином, незважаючи на «поважний» модель трактора МТЗ-82 має досить високі експлуатаційні характеристики і з успіхом використовується і у сучасних господарствах. Проте, зважаючи на моральну застарілість силового агрегату доречним є питання про його модернізацію.

					КП АІ 22.19.00.00 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. РОЗРАХУНОК ЕНЕРГЕТИЧНОГО ЗАСОБУ

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

Для двигуна вибираємо нерозділену камеру згоряння;

Степінь стиску $\varepsilon = 13$;

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

$T_0 = 293$ К;

Підвищення температури заряду в процесі впуску $\Delta T = 10$ К;

Коефіцієнт надлишку повітря $\alpha = 1,8$;

Параметри робочого тіла в кінці процесу впуску: $P_r = 0,152$ МПа;

$T_r = 850$ К;

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

Показник політропи: стиску $n_1 = 1,36$;

розширення $n_2 = 1,16$;

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

Ступінь підвищення тиску при згорянні: $\lambda = 1,4$;

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

Параметри робочого тіла в кінці процесу впуску

Тиск в кінці процесу впуску, МПа:

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

де P_k – тиск у впускному трубопроводі за компресором:

$$P_k = 2 \cdot P_0 = 2 \cdot 0,1013 = 0,2026 \text{ МПа};$$

					КП АІ 22.19.00.00 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

$\omega_{\text{кл}}$ - середня швидкість свіжого заряду в прохідному перерізі клапану, $\omega_{\text{кл}} = 50 \dots 130$ м/с, приймаємо $\omega_{\text{кл}} = 100$ м/с;

$\rho_{\text{к}}$ - густина заряду при даних атмосферних умовах:

$$\rho_{\text{к}} = \frac{P_{\text{к}} \cdot 10^6}{R_{\text{п}} \cdot T_{\text{к}}}, \quad (2.2)$$

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

$T_{\text{к}}$ – температура повітря за компресором:

$$T_{\text{к}} = T_0 \left(\frac{P_{\text{к}}}{P_0} \right)^{\frac{n_{\text{к}}-1}{n_{\text{к}}}}, \quad (2.3)$$

де $n_{\text{к}}$ - показник політропи стиснення повітря в компресорі, $n_{\text{к}} = 1,5$:

$$T_{\text{к}} = 293 \left(\frac{0,2026}{0,1013} \right)^{\frac{1,5-1}{1,5}} = 369,157 \text{ К};$$

$$\rho_{\text{к}} = \frac{0,2026 \cdot 10^6}{287 \cdot 369,157} = 1,912 \text{ кг/м}^3;$$

$$P_{\text{а}} = 0,2026 - 4 \cdot \frac{100^2}{2} \cdot 1,912 \cdot 10^{-6} = 0,164 \text{ МПа.}$$

Коефіцієнт залишкових газів:

$$\gamma = \frac{T_{\text{к}} + \Delta T}{T_{\text{р}}} \cdot \frac{P_{\text{р}}}{\varepsilon \cdot P_{\text{а}} - P_{\text{р}}} = \frac{369,157 + 10}{850} \cdot \frac{0,152}{13 \cdot 0,164 - 0,152} = 0,034$$

Температура кінця впуску:

					КП АІ 22.19.00.00 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_a = \frac{T_0 + \Delta T + \gamma T_r}{1 + \gamma} = \frac{293 + 10 + 0,03 \cdot 850}{1 + 0,034} = 394,711 \text{ К.}$$

Коефіцієнт наповнення:

$$\eta_v = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{P_a}{P_k} \cdot \frac{T_k}{T_a(1 + \gamma)} = \frac{13}{13 - 1} \cdot \frac{0,164}{0,2026} \cdot \frac{369,157}{394,711(1 + 0,034)} = 0,795$$

Параметри робочого тіла в кінці процесу стиснення

Тиск:

$$P_c = P_a \varepsilon^{n_1} = 0,164 \cdot 13^{1,36} = 5,38 \text{ МПа.}$$

Температура:

$$T_c = T_a \varepsilon^{n_1 - 1} = 394,711 \cdot 13^{1,36 - 1} = 993,8$$

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

$$\begin{aligned} c_{V_c} &= 20,16 + 1,74 \cdot 10^{-3} \cdot T_c = \\ &= 20,16 + 1,735 \cdot 10^{-3} \cdot 993,8 = 21,884 \text{ кДж/(кмоль К)} \end{aligned}$$

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,

					КП АІ 22.19.00.00 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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:

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

Перевірка:

$$L_0 = \frac{l_0}{\mu_{\text{пов}}}, \quad (2.4)$$

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:

$$M_1 = \alpha L_0 = 1,8 \cdot 0,495 = 0,89 \text{ КГ/КМОЛЬ}$$

Кількість продуктів згоряння палива при повному згорянні:

$$\begin{aligned} M_2 &= \alpha L_0 + \frac{H}{4} + \frac{O_a}{32} = \\ &= 1,8 \cdot 0,495 + \frac{0,126}{4} + \frac{0,004}{32} = 0,922 \text{ КГ/КМОЛЬ} \end{aligned}$$

Коефіцієнт молекулярної зміни:

теоретичний:

					КП АІ 22.19.00.00 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\mu_0 = \frac{M_2}{M_1} = \frac{0,922}{0,89} = 1,036$$

дійсний:

$$\mu = \frac{M_2 + \gamma \cdot M_2}{M_1 + \gamma \cdot M_1} = \frac{0,922 + 0,034 \cdot 0,922}{0,89 + 0,034 \cdot 0,89} = 1,034.$$

Середня мольна теплоємність продуктів згорання в дизелі:

$$c_{P_z} = 20,2 + \frac{0,92}{\alpha} + \left(15,5 + \frac{13,8}{\alpha}\right) 10^{-4} T_z + R, \quad (2.5)$$

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 згорання визначається на основі рівняння:

$$\frac{\xi h_H}{L_0 \cdot (1 + \gamma) \alpha} + (8,314 \lambda + c_{V_c}) T_c = \mu c_{P_z} T_z, \quad (2.6)$$

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

$$A \cdot T_z^2 + B \cdot T_z + C = 0, \quad (2.7)$$

$$\text{де } A = -\mu \left(15,5 + \frac{13,8}{\alpha}\right) 10^{-4} = -1,034 \left(15,5 + \frac{13,8}{1,8}\right) 10^{-4} = -0,002$$

$$B = -\mu \left(20,2 + \frac{0,92}{\alpha} + R\right) = -1,034 \left(20,2 + \frac{0,92}{1,8} + 8,314\right) = -30,022$$

					КП АІ 22.19.00.00 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

$$= \frac{0,9 \cdot 42500}{0,495 \cdot (1 + 0,034)1,8} + (8,314 \cdot 1,4 + 21,884)993,8 = 74857,093$$

$$T_z = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}, \quad (2.8)$$

Корені рівняння $T_{z1} = 2130,963$ К, $T_{z2} = -14526,2$ К. Оскільки фізичний сенс може мати тільки додатковий корінь рівняння, тому $T_z = 2130,963$ К

$$c_{Pz} = 20,2 + \frac{0,92}{1,8} + \left(15,5 + \frac{13,8}{1,8}\right) 10^{-4} 2130,963 + 8,314 = 33,962$$

Тиск в кінці процесу згоряння:

$$P_z = \lambda P_c = 1,4 \cdot 5,38 = 7,531 \text{ МПа};$$

Показники, що характеризують процес згоряння:
ступінь попереднього розширення:

$$\rho = \frac{\mu T_z}{\lambda T_c} = \frac{1,034 \cdot 2130,963}{1,4 \cdot 993,8} = 1,584$$

ступінь подальшого розширення

$$\delta = \frac{\varepsilon}{\rho} = \frac{13}{1,585} = 8,206$$

Параметри робочого тіла в кінці процесу розширення

					КП АІ 22.19.00.00 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тиск:

$$P_b = \frac{1}{\delta^{n_2}} P_z = \frac{1}{8,206^{1,16}} 7,531 = 0,655 \text{ МПа.}$$

Температура:

$$T_b = \frac{1}{\delta^{n_2-1}} T_z = \frac{1}{8,206^{1,16-1}} 2130,963 = 1521,652 \text{ МПа.}$$

Перевірка правильності прийняття температури T_r :

$$T_r' = \frac{T_b}{\sqrt[3]{P_b/P_r}} = \frac{1521,652}{\sqrt[3]{0,655/0,152}} = 934,907$$

$$\Delta = \frac{T_r' - T_r}{T_r'} \cdot 100\% = \frac{934,907 - 850}{934,907} \cdot 100\% = 9,082\%$$

Індикаторні показники роботи циклу

Середній індикаторний тиск:

розрахунковий:

$$\begin{aligned} P_i' &= \frac{P_c}{\varepsilon - 1} \left\{ \lambda(\rho - 1) + \frac{\lambda\rho}{n_2 - 1} \left[1 - \left(\frac{\rho}{\varepsilon} \right)^{n_2-1} \right] - \frac{1}{n_2 - 1} \left[1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2-1}} \right] \right\} = \\ &= \frac{5,38}{13 - 1} \left\{ 1,3(1,585 - 1) + \frac{1,4 \cdot 1,585}{1,16 - 1} \left[1 - \left(\frac{1,585}{13} \right)^{1,16-1} \right] \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{1,16 - 1} \left[1 - \frac{1}{13^{1,16-1}} \right] \right\} = \\ &= 1,393 \text{ МПа} \end{aligned}$$

дійсний:

					КП АІ 22.19.00.00 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_i = \varphi P_i' = 0,95 \cdot 1,393 = 1,323 \text{ МПа}$$

Індикаторний ККД:

$$\eta_i = \frac{P_i \cdot \alpha \cdot l_0}{\eta_v \cdot \rho_k \cdot h_H} 10^3 = \frac{1,323 \cdot 1,8 \cdot 14,452}{0,795 \cdot 1,912 \cdot 42500} 10^3 = 0,533$$

Питома індикаторна витрата палива:

$$g_i = \frac{3600000}{h_H \cdot \eta_i} = \frac{3600000}{42500 \cdot 0,533} = 158,953 \text{ г/(кВт год)}$$

Ефективні показники роботи циклу

Середній тиск механічних втрат:

$$P_e = P_i - P_M, \quad (2.9)$$

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

$$P_M \approx 0,1 \cdot (a + b \cdot v_{Пср}) \cdot P_k, \quad (2.10)$$

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 $v_{Пср} = 8 \text{ м/с}$;

$$P_M \approx 0,1 \cdot (0,105 + 0,0138 \cdot 8) \cdot 0,2026 = 0,004 \text{ МПа.}$$

$$P_e = 1,323 - 0,004 = 1,319$$

					КП АІ 22.19.00.00 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Механічний к.к.д.:

$$\eta_M = \frac{P_e}{P_i} = \frac{1,319}{1,323} = 0,997$$

Ефективний к.к.д.:

$$\eta_e = \eta_i \eta_M = 0,533 \cdot 0,997 = 0,531$$

Питома ефективна витрата палива:

$$g_e = \frac{3600000}{h_n \cdot \eta_e} = \frac{3600000}{42500 \cdot 0,531} = 159,479 \text{ г/кВт}$$

Годинна витрата палива:

$$G_{TH} = \frac{N_{ен} g_e}{1000} = \frac{72 \cdot 159,479}{1000} = 11,482 \text{ кг/год}$$

Номінальна циклова подача палива, мм³/цикл:

$$q_{ЦН} = \frac{G_{TH} \cdot \tau_{дв} \cdot 10^6}{120 \cdot n \cdot i \cdot \rho_{пал}}, \quad (2.11)$$

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

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

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

n – номінальна частота обертання двигуна, $n = 1850 \text{ хв}^{-1}$:

					КП АІ 22.19.00.00 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$q_{\text{ЦН}} = \frac{11,482 \cdot 4 \cdot 10^6}{120 \cdot 1850 \cdot 4 \cdot 0,83} = 62,317 \text{ мм}^3/\text{ЦИКЛ}$$

Крутний момент двигуна:

на номінальному режимі:

$$M_{\text{КРН}} = 9550 \frac{N_{\text{ен}}}{n} = 9550 \frac{72}{1850} = 371,676 \text{ Нм}$$

максимальний

$$M_{\text{КРmax}} = K \cdot M_{\text{КРН}}, \quad (2.12)$$

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

$$M_{\text{КРmax}} = 1,2 \cdot 371,676 = 446,011 \text{ Нм.}$$

Літрова потужність двигуна:

$$N_{\text{л}} = \frac{P_{\text{ен}}}{30\tau_{\text{дв}}} = \frac{1,319 \cdot 1850}{30 \cdot 4} = 20,332 \text{ кВт/л}$$

Основні розміри двигуна

Робочий об'єм двигуна:

$$V_{\text{л}} = \frac{N_{\text{ен}}}{N_{\text{л}}} = \frac{72}{20,332} = 3,541 \text{ л}$$

Робочий об'єм циліндра:

$$V_{\text{h}} = \frac{V_{\text{л}}}{i} = \frac{3,541}{4} = 0,885 \text{ л}$$

					КП АІ 22.19.00.00 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Об'єм камери згоряння:

$$V_c = \frac{V_h}{\varepsilon - 1} = \frac{0,885}{13 - 1} = 0,074 \text{ л}$$

Повний об'єм циліндра:

$$V_a = V_h + V_c = 0,885 + 0,074 = 0,959 \text{ л}$$

Діаметр циліндра:

$$D = 100^3 \sqrt{\frac{4V_h}{\pi S}} = 100^3 \sqrt{\frac{4 \cdot 0,885}{3,14 \cdot 1,2}} = 97,9 \text{ мм}$$

Приймаємо $D = 98 \text{ мм}$

Площа поршня:

$$F_{\text{порш}} = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 98^2}{4} = 7542,964 \text{ мм}^2.$$

Хід поршня:

$$S = D \cdot \frac{S}{D} = 98 \cdot 1,2 = 117,6 \text{ мм.}$$

Приймаємо $S = 118 \text{ мм}$

Перевірка середньої швидкості поршня

$$v'_{\text{Пср}} = \frac{S \cdot 10^{-3} n}{30} = \frac{118 \cdot 10^{-3} \cdot 1850}{30} = 7,277 \text{ м/с};$$

$$\Delta = \frac{v'_{\text{Пср}} - v_{\text{Пср}}}{v'_{\text{Пср}}} 100\% = \frac{7,277 - 8}{7,277} 100\% = 9,94\%$$

Оскільки $\Delta > 5\%$, тому з конструктивних міркувань збільшуємо діаметр циліндра і приймаємо $D = 104 \text{ мм}$.

					КП АІ 22.19.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Площа поршня:

$$F_{\text{порш}} = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 104^2}{4} = 8494,867 \text{ мм}^2.$$

Хід поршня:

$$S = D \cdot \frac{S}{D} = 104 \cdot 1,2 = 124,8 \text{ мм.}$$

Приймаємо $S = 124 \text{ мм}$

Перевірка середньої швидкості поршня

$$v'_{\text{Пср}} = \frac{S \cdot 10^{-3} n}{30} = \frac{124 \cdot 10^{-3} \cdot 1850}{30} = 7,647 \text{ м/с;}$$

$$\Delta = \frac{v'_{\text{Пср}} - v_{\text{Пср}}}{v'_{\text{Пср}}} 100\% = \frac{7,647 - 8}{7,647} 100\% = 4,621\%$$

Довжина шатуна:

$$L_{\text{ш}} = \frac{R}{\lambda_{\text{кшм}}}, \quad (2.13)$$

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

R – радіус кривошипа:

$$R = \frac{S}{2} = \frac{124}{2} = 62 \text{ мм.}$$

$$L_{\text{ш}} = \frac{62}{0,27} = 229,63 \text{ мм}$$

Приймаємо $L_{\text{ш}} = 230 \text{ мм}$.

Індикаторна потужність двигуна, кВт:

$$N_i = \frac{P_i \cdot V_{\text{л}} \cdot n}{30 \cdot \tau_{\text{дв}}} = \frac{1,323 \cdot 3,541 \cdot 1850}{30 \cdot 4} = 72,238$$

Потужність механічних втрат:

$$N_{\text{м}} = N_i - N_{\text{ен}} = 72,238 - 72 = 0,238 \text{ кВт}$$

					КП АІ 22.19.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Отримані дані заносимо до таблиці 2.

Таблиця 3 - Результати теплового розрахунку двигуна внутрішнього згоряння

Параметри двигуна	Числові значення параметрів	
	двигун-прототип	запроектований двигун
Номінальна ефективна потужність $N_{ен}$, кВт	58,8	72,5
Номінальна частота обертання колінвала n , хв ⁻¹	2200	1850
Кількість циліндрів i	4	4
Діаметр циліндра D , мм	110	104
Хід поршня S , мм	125	124
Робочий об'єм двигуна $V_{л}$, л	4,75	3,541
Крутний момент на номінальному режимі $M_{крн}$, Н·м		371,676
Максимальний крутний момент $M_{крmax}$, Н·м		446,011
Середній ефективний тиск P_e , МПа		1,319
Індикаторний коефіцієнт корисної дії η_i		0,533
Механічний коефіцієнт корисної дії η_m		0,997
Ефективний коефіцієнт корисної дії η_e		0,531
Питома індикаторна витрата палива g_i , кг/(кВт год)		158,953
Питома ефективна витрата палива g_e , кг/(кВт год)	238	159,479
Годинна витрата палива $G_{Тн}$, кг/год		11,482
Літрова потужність $N_{л}$, кВт/л		20,332
Циліндрова потужність $N_{ц}$, кВт/циліндр		5,083

2.2 Розрахунок турбокомпресора

Турбокомпресор або газотурбінний нагнітач — компресор динамічної дії (відцентровий або осьовий), у якому дія на потік стиснутого газу здійснюється обертливими ґратками лопаток ротора, що урухомлюється і працює в парі на одному валу із турбіною. Є важливим вузлом двигунів внутрішнього згоряння, що оснащені системою наддування. Турбокомпресор підвищує тиск у впускній системі двигуна, в результаті чого збільшується маса повітря, яке надходить у камеру згоряння, що дозволяє забезпечити приріст потужності двигуна до 30-40%.

Турбокомпресори, що використовуються в автотракторних двигунах, найчастіше виконуються за двоконсольною схемою з опорами, які розташовуються між дисками компресора і турбіни. Вал обертається у підшипниках ковзання. Використовуються підшипники плаваючого типу, тобто вони мають зазор як з боку корпусу, так і валу. Підшипники змащуються моторною оливою системи змащення двигуна. Олива подається по каналах в корпусі підшипників. Для герметизації масла на валу встановлені защілювальні кільця.

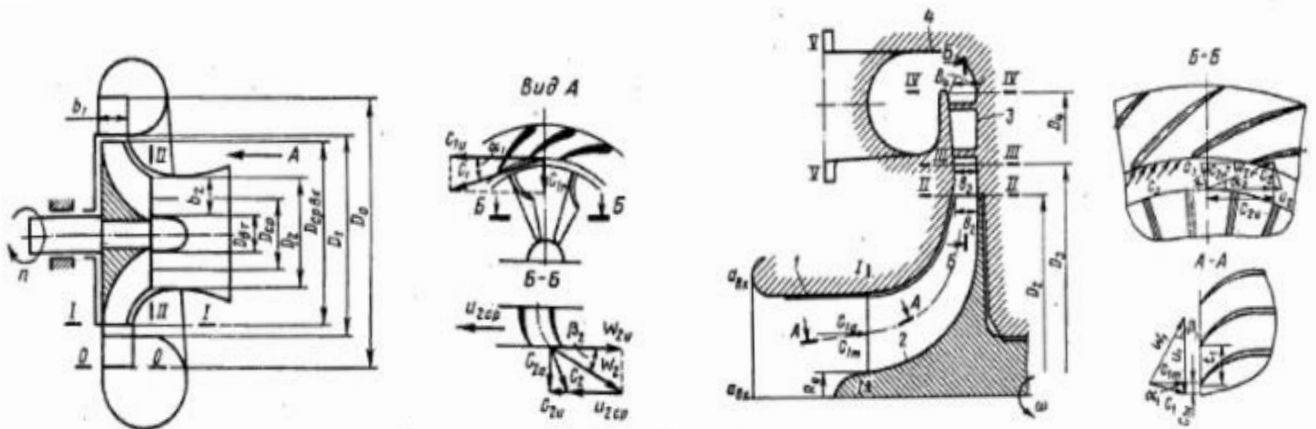


Рисунок 1 – Розрахункова схема турбокомпресора

Розрахунок компресора. Масова витрата повітря через двигун G_B (кг/с) :

$$G_B = \frac{\alpha \cdot \varphi_n \cdot l_0 \cdot N_e \cdot g_e}{36 \cdot 10^5}; \quad (2.14)$$

						КП АІ 22.19.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			21

$$G_B = \frac{1,73 \cdot 1 \cdot 14,45 \cdot 127 \cdot 204,68}{36 \cdot 10^5} = 0,18 \text{ кг/с.}$$

де $\varphi_n = 1$ – коефіцієнт продування;

Густина повітря на вході в компресор:

$$\rho_0 = p_0 \cdot 10^6 / (R_B \cdot T_0); \quad (2.15)$$

$$\rho_0 = 0,1 \cdot 10^6 / (287 \cdot 293) = 1,19 \text{ кг/м}^3.$$

Об'ємна витрата повітря через компресор:

$$Q_B = G_B / \rho_0; \quad (2.16)$$

$$Q_B = 0,18 / 1,19 = 0,151 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Температура повітря в перерізі a_{BX} – a_{BX} :

$$T_{a_{\text{BX}}} = T_0 = 293 \text{ К}; \quad (2.17)$$

Тиск повітря в перерізі a_{BX} – a_{BX} :

$$p_{a_{\text{BX}}} = p_0 - \Delta p_{\text{BC}}; \quad (2.18)$$

$$p_{a_{\text{BX}}} = 0,1 - 0,005 = 0,095 \text{ МПа.}$$

де $\Delta p_{\text{BC}} = 0,005$ – втрати тиску на всмоктування компресор, МПа.

Ступінь підвищення тиску повітря в компресорі:

					КП АІ 22.19.00.00 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\pi_{жс} = p_{жс} / p_{a_{BX}} ; \quad (2.19)$$

$$\pi_{жс} = 0,17 / 0,095 = 1,79.$$

де $p_{жс} = 0,17$ - тиск надувного повітря, МПа.

Номінальний базовий діаметр колеса турбокомпресора $D_2 = 0,085$ м = 85 мм.

Адіабатична робота стиску в компресорі:

$$L_{ад.жс} = \frac{k}{k-1} \cdot R_B \cdot T_{a_{BX}} \cdot (\pi_{жс}^{(k-1)/k} - 1); \quad (2.20)$$

$$L_{ад.жс} = \frac{1,4}{1,4-1} \cdot 287 \cdot 293 \cdot (1,79^{(1,4-1)/1,4} - 1) = 53400 \text{ Дж / кг.}$$

Окружна швидкість на зовнішньому діаметрі колеса компресора:

$$u_2 = \sqrt{L_{ад.жс} / H_{ад.жс}} ; \quad (2.21)$$

$$u_2 = \sqrt{53400 / 0,6} = 298 \text{ м / с.}$$

де $H_{ад.жс} = 0,6$ – коефіцієнт напору.

Частота обертання колеса компресора:

$$n_{жс} = 60 \cdot u / (\pi \cdot D_2); \quad (2.22)$$

$$n_{жс} = 60 \cdot 298 / (3,14 \cdot 0,085) = 67000 \text{ мин}^{-1}.$$

					КП АІ 22.19.00.00 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Температура повітря на вході в колесо компресора:

$$T_1 = T_{a_{BX}} \cdot \frac{c_{a_{BX}}^2 - c_1^2}{2 \cdot c_p}; \quad (2.23)$$

$$T_1 = 293 \cdot \frac{40^2 - 80^2}{2 \cdot 1005} = 290,6 \text{ K.}$$

де $c_{a_{BX}} = 40$ – швидкість повітря у вхідному перерізі, м/с;

де $c_1 = 80$ - абсолютна швидкість потоку перед колесом, м/с;

де $c_p = 1005$ – теплоємність повітря при постійному тиску, Дж/(кг · К).

Втрати в повітропідвідному патрубку компресора:

$$L_{r_{BX}} = \xi_{\text{ex}} \cdot c_1^2 / 2; \quad (2.24)$$

$$L_{r_{BX}} = 0,04 \cdot 80^2 / 2 = 128 \text{ Дж / кг.}$$

де $\xi_{\text{ex}} = 0,04$ – коефіцієнт втрат для патрубків із осьових входів.

Показник політропи n_{ex} на ділянці входу повітря в компресор визначаємо з виразу:

$$\frac{n_{\text{ex}}}{n_{\text{ex}} - 1} = \frac{k}{k - 1} - \frac{L_{r_{BX}}}{R_B \cdot (T_1 - T_{a_{BX}})}; \quad (2.25)$$

$$\frac{n_{\text{ex}}}{n_{\text{ex}} - 1} = \frac{1,4}{1,4 - 1} - \frac{128}{287 \cdot (290,6 - 293)} = 3,686.$$

звідки $n_{\text{ex}} = 1,37$.

					КП АІ 22.19.00.00 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тиск перед колесом компресора:

$$p_1 = p_{a_{BX}} \cdot (T_1/T_{a_{BX}})^{n_{BX}/(n_{BX}-1)}; \quad (2.26)$$

$$p_1 = 0,095 \cdot (290,6/293)^{1,37/(1,37-1)} = 0,0915 \text{ МПа}.$$

Густина повітря поперечного перерізу:

$$\rho_1 = p_1 \cdot 10^6 / (R_B \cdot T_1); \quad (2.27)$$

$$\rho_1 = 0,0915 \cdot 10^6 / (287 \cdot 290,6) = 1,1 \text{ кг/м}^3.$$

Площа поперечного перерізу:

$$F_1 = G_B / (c_1 \cdot \rho_1); \quad (2.28)$$

$$F_1 = 0,18 / (80 \cdot 1,1) = 0,002 \text{ м}^2.$$

Діаметр робочого колеса на вході в компресор:

$$D_1 = \sqrt{F_1 / \{0,785 \cdot [1 - (D_0/D_1)^2]\}}; \quad (2.29)$$

$$D_1 = \sqrt{0,002 / \{0,785 \cdot [1 - 0,3^2]\}} = 0,0529 \text{ м} = 52,9 \text{ мм}.$$

де $D_0/D_1 = 0,3$ - відношення діаметра втулки колеса до його діаметра на вході.

Діаметр втулки робочого колеса компресора:

					КП АІ 22.19.00.00 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$D_0 = D_1 \cdot D_0 / D_1; \quad (2.30)$$

$$D_0 = 0,0529 \cdot 0,52 = 0,0275 \text{ м} = 27,5 \text{ мм.}$$

Відносний діаметр втулки робочого колеса:

$$\bar{D}_0 = D_0 / D_2; \quad (2.31)$$

$$\bar{D}_0 = 0,0275 / 0,085 = 0,323.$$

Відносний діаметр колеса на вході:

$$\bar{D}_1 = D_1 / D_2; \quad (2.32)$$

$$\bar{D}_1 = 0,0529 / 0,085 = 0,622.$$

Відносний середній діаметр на вході в колесо:

$$\bar{D}_{1cp} = \sqrt{(\bar{D}_0^2 + \bar{D}_1^2) / 2}; \quad (2.33)$$

$$\bar{D}_{1cp} = \sqrt{(0,323^2 + 0,622^2) / 2} = 0,495.$$

Коефіцієнт потужності для осерадіальних коліс:

$$\mu = 1 / \left[1 + \frac{2}{3} \cdot \frac{\pi}{z_k} \cdot \left(\frac{1}{1 - \bar{D}_{1cp}^2} \right) \right]; \quad (2.34)$$

					КП АІ 22.19.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

$$\mu = 1 / \left[1 + \frac{2}{3} \cdot \frac{3,14}{16} \cdot \frac{1}{(1 - 0,495^2)} \right] = 0,85.$$

де $z_k = 16$ – число лопаток робочого колеса компресора.

Окружна складова абсолютної швидкості на виході з колеса:

$$c_{2u} = \mu \cdot u_2; \quad (2.35)$$

$$c_{2u} = 0,858 \cdot 298 = 255,68 \text{ м/с.}$$

Радіальна складова абсолютної швидкості:

$$c_{2r} = 0,3 \cdot u_2; \quad (2.36)$$

$$c_{2r} = 0,3 \cdot 298 = 89,5 \text{ м/с.}$$

Абсолютна швидкість повітря на виході з колеса:

$$c_2 = \sqrt{c_{2u}^2 + c_{2r}^2}; \quad (2.37)$$

$$c_2 = \sqrt{255,68^2 + 89,5^2} = 270,9 \text{ м/с.}$$

Температура повітря на виході з колеса:

$$T_2 = T_1 + (\mu + \alpha_f - \mu^2 / 2) \cdot u_2^2 / c_p; \quad (2.38)$$

$$T_2 = 290,6 + (0,858 + 0,05 - 0,858^2 / 2) \cdot 298^2 / 1005 = 338,3 \text{ К.}$$

					КП АІ 22.19.00.00 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $\alpha_f = 0,05$ - коефіцієнт дискових втрат.

Показник політри стиснення в робочому колесі визначається: $n_{ж} = 1,5$.

Тиск повітря на виході з колеса:

$$p_2 = p_1 \cdot (T_2 / T_1)^{\pi_{ж} / (\pi_{ж} - 1)}; \quad (2.39)$$

$$p_2 = 0,0915 \cdot (338,3 / 290,6)^{1,79 / (1,79 - 1)} = 0,129 \text{ МПа.}$$

Щільність повітря за робочим колесом:

$$\rho_2 = p_2 \cdot 10^6 / (R_B \cdot T_2); \quad (2.40)$$

$$\rho_2 = 0,129 \cdot 10^6 / (287 \cdot 338,3) = 1,32 \text{ кг/м}^3.$$

Висота лопаток робочого колеса на діаметрі D2

$$b_2 = G_B / (\pi \cdot D_2 \cdot c_{2r} \cdot \rho_2); \quad (2.41)$$

$$b_2 = 0,18 / (3,14 \cdot 0,085 \cdot 89,5 \cdot 1,32) = 0,0057 \text{ м} = 5,7 \text{ мм.}$$

Відносна висота лопаток у вихідному перерізі колеса:

$$\bar{b}_2 = b_2 / D_2; \quad (2.42)$$

$$\bar{b}_2 = 0,0057 / 0,085 = 0,067.$$

Відносна ширина колеса компресора:

					КП АІ 22.19.00.00 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\bar{B} = B/D_2 ; \quad (2.43)$$

$$\bar{B} = 0,033/0,085 = 0,388.$$

де $B = 0,033$ – ширина колеса компресорі, м.

Ширина безлопатевої частини дифузора приймається рівною висоті лопатки колеса на виході:

$$b_3 = b_2 = 0,0057 \text{ м} = 5,7 \text{ мм.}; \quad (2.44)$$

Зовнішній діаметр безлопаткового дифузора:

$$D_3 = D_2 \cdot \bar{D}_3 ; \quad (2.45)$$

$$D_3 = 0,085 \cdot 1,14 = 0,097 \text{ м} = 97 \text{ мм.}$$

де $\bar{D}_3 = D_3 / D_2 = 1,14$ - відносний зовнішній діаметр безлопаткового дифузора.

Абсолютна швидкість на виході з безлопаткового дифузора:

$$c_3 = \frac{c_2}{D_3} \cdot \frac{b_2}{b_3} ; \quad (2.46)$$

$$c_3 = \frac{270,9}{1,14} \cdot \frac{0,0057}{0,0057} = 237,63 \text{ м/с.}$$

Відношення $c_2/c_3 = 1,14$ вбирається у допустимих значень.

Тиск за лопатковим дифузоров:

					КП АІ 22.19.00.00 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$p_4 = p_{a_{BX}} \cdot \pi_{жс}; \quad (2.47)$$

$$p_4 = 0,095 \cdot 1,79 = 0,17 \text{ МПа.}$$

Показник політропи стиснення у дифузорах приймаємо $n_d = 1,7$.

Температура повітря за лопатевим дифузором:

$$T_4 = T_2 \cdot (p_4 / p_2)^{(n_L - 1)/n_d}; \quad (2.48)$$

$$T_4 = 338,3 \cdot (0,17/0,129)^{(1,7 - 1)/1,7} = 370,01 \text{ К.}$$

Швидкість повітря на виході з лопаткового дифузора:

$$c_4 = \sqrt{c_2^2 - (T_4 - T_2) \cdot 2 \cdot c_p}; \quad (2.49)$$

$$c_4 = \sqrt{270,9^2 - (370,01 - 338,3) \cdot 2 \cdot 1005} = 98,23 \text{ м/с.}$$

Зовнішній діаметр лопаткового дифузора знаходиться в межах $D_4 = (1,35 - 1,7) \cdot D_2$. Приймаємо $D_4 = 1,4 \cdot 0,085 = 0,120 \text{ м} = 120 \text{ мм}$.

Ширина лопаткового дифузора на виході:

$$b_4 = b_3 + (D_4 - D_3) \cdot \text{tg } \nu / 2; \quad (2.50)$$

$$b_4 = 0,0057 + (0,120 - 0,097) \cdot \text{tg } 6^\circ / 2 = 0,007 \text{ м} = 7 \text{ мм.}$$

де $\nu = 6^\circ$ - Кут розкриття стінок лопаткового дифузора.

Швидкість повітря на виході з повітрозбірника:

					КП АІ 22.19.00.00 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$c_5 = c_4 = 98,23 \text{ м/с.} \quad (2.51)$$

Втрати у повітрозбірнику:

$$L_{F_{\text{вл}}} = \xi_{\text{вл}} \cdot c_4^2 / 2; \quad (2.52)$$

$$L_{F_{\text{вл}}} = 0,15 \cdot 98,23^2 / 2 = 723,68 \text{ Дж/кг.}$$

де $\xi_{\text{вл}} = 0,15$ - коефіцієнт втрат у повітрозбірнику.

Тиск на виході з равлика:

$$p_5 = p_4 \cdot \left(1 - \frac{L_{F_{\text{вл}}}}{R_B \cdot T_5} \cdot \frac{k-1}{k} \right)^{k/(k-1)}; \quad (2.53)$$

$$p_5 = 0,17 \cdot \left(1 - \frac{723,68}{287 \cdot 370,01} \cdot \frac{1,4-1}{1,4} \right)^{1,4/(1,4-1)} = 0,168 \text{ МПа.}$$

Справжній рівень підвищення тиску в компресорі:

$$\pi_{\text{жс}} = p_5 / p_{a_{\text{вх}}}; \quad (2.54)$$

$$\pi_{\text{жс}} = 0,168 / 0,095 = 1,76.$$

Адіабатичний ККД компресора:

$$\eta_{\text{ад.жс}} = T_0 \left(\pi_{\text{жс}}^{(k-1)/k} - 1 \right) / (T_5 - T_0); \quad (2.55)$$

$$\eta_{\text{ад.жс}} = 293 \cdot \left(1,76^{(1,4-1)/1,4} - 1 \right) / (370,01 - 293) = 0,66.$$

Адіабатична робота, визначена насправді підвищення тиску:

					КП АІ 22.19.00.00 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$L_{ад.жс} = \frac{k}{k-1} \cdot R_B \cdot T_{a_{BX}} \cdot (\pi_{жс}^{(k-1)/k} - 1); \quad (2.56)$$

$$L_{ад.жс} = \frac{1,4}{1,4-1} \cdot 287 \cdot 293 \cdot (1,76^{(1,4-1)/1,4} - 1) = 51600 \text{ Дж / кг.}$$

Потужність, що витрачається на привід компресора:

$$N_{жс} = L_{ад.жс} \cdot G_B / 1000 \cdot \eta_{ад.жс}; \quad (2.57)$$

$$N_{жс} = 51600 \cdot 0,18 / 1000 \cdot 0,66 = 14,07 \text{ кВт.}$$

Розрахунок турбіни. Кількість газів, що надійшли на турбіну від двигуна:

$$G_T = G_B \cdot [1 + 1/(\alpha \cdot \varphi_n \cdot l_0)]; \quad (2.58)$$

$$G_T = 0,18 \cdot [1 + 1/(1,73 \cdot 1 \cdot 14,45)] = 0,18 \text{ кг / с.}$$

Тиск перед турбіною:

$$p_p = 0,92 \cdot p_{жс} = 0,92 \cdot 0,167 = 0,154 \text{ МПа.} \quad (2.59)$$

Температура газу перед турбіною при $\varphi_n = 1$:

$$T_T = T_p = \frac{1}{m} \cdot T_b \cdot \left[1 + \frac{p_p}{p_b} \cdot (m-1) \right]; \quad (2.60)$$

$$T_T = T_p = \frac{1129}{1,43} \cdot \left[1 + \frac{0,154}{0,485} \cdot (1,43-1) \right] = 896 \text{ К.}$$

					КП АІ 22.19.00.00 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де T_p – температура газу у випускному патрубку; $m = 1,43$ – показник палітри розширення у процесі випуску.

Показник ізоентропи $k_T = 1,34$.

Молекулярна маса газу перед турбіною перебуває з урахуванням параметрів, визначених у тепловому розрахунку дизеля:

$$\mu_T = \mu_B \cdot \frac{1 + \alpha \cdot \varphi_n \cdot l_0}{\mu_0 \cdot \alpha \cdot \varphi_n \cdot l_0}; \quad (2.61)$$

$$\mu_T = 28,96 \cdot \frac{1 + 1,73 \cdot 1 \cdot 14,45}{1,037 \cdot 1,73 \cdot 1 \cdot 14,45} = 29,04 \text{ кг / кмоль.}$$

Газова стала випускних газів:

$$R_T = R / \mu_T; \quad (2.62)$$

$$R_T = 8315 / 29,04 = 286 \text{ Дж / (кг} \cdot \text{К)}.$$

Тиск газу перед турбіною:

$$p_T = p_2 / \left(1 - \frac{\frac{k_T - 1}{k_T} \cdot L_{ад.жс} \cdot G_B}{\eta_T \cdot \eta_{ад.жс} \cdot R_T \cdot T_T \cdot G_T} \right)^{k_T / (k_T - 1)}; \quad (2.63)$$

$$p_T = 0,129 / \left(1 - \frac{\frac{1,34 - 1}{1,34} \cdot 51600 \cdot 0,18}{0,76 \cdot 0,66 \cdot 286 \cdot 896 \cdot 0,18} \right)^{1,34 / (1,34 - 1)} = 0,129 \text{ МПа.}$$

Повна адіабатична робота розширення газу в турбіні:

					КП АІ 22.19.00.00 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$L_{ад.м} = L_{ад.эс} \cdot G_B / (\eta_T \cdot \eta_{ад.эс} \cdot G_B); \quad (2.64)$$

$$L_{ад.м} = 51600 \cdot 0,18 / (0,76 \cdot 0,66 \cdot 0,18) = 102870 \text{ Дж/кг.}$$

Адиабатична робота розширення в напрямному апараті:

$$L_c = (1 - \rho_T) \cdot L_{ад.м}; \quad (2.65)$$

$$L_c = (1 - 0,5) \cdot 102870 = 51435 \text{ Дж/кг.}$$

де $\rho_T = 0,5$ – ступінь реактивності;

Абсолютна швидкість газу перед робочим колесом:

$$c_1 = \varphi_c \cdot \sqrt{2L_c}; \quad (2.66)$$

$$c_1 = 0,94 \cdot \sqrt{2 \cdot 51435} = 301,49 \text{ м/с.}$$

де $\varphi_c = 0,94$ – коефіцієнт швидкості;

Температура газу за напрямним апаратом:

$$T_1 = T_T - \frac{c_1^2}{2 \cdot k_r \cdot R_r / (k_r - 1)}; \quad (2.67)$$

$$T_1 = 896 - \frac{301,49^2}{2 \cdot 1,34 \cdot 286 / (1,34 - 1)} = 855,68 \text{ К.}$$

Число Маху:

$$M_1 = \frac{c_1}{\sqrt{k_r \cdot R_r \cdot T_1}}; \quad (2.68)$$

					КП АІ 22.19.00.00 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_1 = \frac{301,49}{\sqrt{1,34 \cdot 286 \cdot 855,68}} = 0,52.$$

Радіальна та окружна складові абсолютної швидкості газу перед робочим колесом:

$$c_{1r} = c_1 \cdot \sin \alpha_1 ; \quad (2.69)$$

$$c_{1r} = 301,49 \cdot \sin 25^0 = 127,41 \text{ м/с.};$$

$$c_{1u} = c_1 \cdot \cos \alpha_1 ; \quad (2.70)$$

$$c_{1u} = 301,49 \cdot \cos 25^0 = 273,24 \text{ м/с.}$$

де $\alpha_1 = 25^0$ – кут виходу потоку з напрямного апарату;

Кут виходу потоку з лопатки робочого колеса:

$$\beta_1 = 90^0 + \operatorname{arctg} \frac{u_1 - c_{1u}}{c_{1r}} ; \quad (2.71)$$

$$\beta_1 = 90^0 + \operatorname{arctg} \frac{276 - 273,24}{127,41} = 90^0 5'.$$

де $u_1 = 276 \text{ м/с}$ – окружна швидкість на зовнішньому діаметрі колеса;

Умовна адіабатична швидкість витікання газу:

$$c_{ad} = \sqrt{2 \cdot L_{ad.ж}} ; \quad (2.72)$$

					КП АІ 22.19.00.00 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$c_{a0} = \sqrt{2 \cdot 53400} = 326,8 \text{ м/с.}$$

Параметри швидкохідності турбіни:

$$\chi = u_1 / c_{a0}; \quad (2.73)$$

$$\chi = 276 / 326,8 = 0,84.$$

Відносна швидкість потоку перед колесом:

$$w_1 = c_{1r} / \sin \beta_1; \quad (2.74)$$

$$w_1 = 127,41 / \sin 90^{\circ} 5' = 127,41 \text{ м/с.}$$

Зовнішній діаметр робочого колеса:

$$D_1 = 60 \cdot u_1 / (\pi \cdot n_{\text{жс}}); \quad (2.75)$$

$$D_1 = 60 \cdot 276 / (3,14 \cdot 67000) = 0,078 \text{ м} = 78 \text{ мм.}$$

Втрати енергій у напрямному апараті:

$$\Delta L_c = \left(\frac{1}{\varphi_c^2} - 1 \right) \cdot \frac{c_1^2}{2}; \quad (2.76)$$

$$\Delta L_c = \left(\frac{1}{0,94^2} - 1 \right) \cdot \frac{301,49^2}{2} = 5987 \text{ Дж/кг.}$$

Вхідний діаметр напрямного апарату:

					КП АІ 22.19.00.00 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$D_0 = D_1 \cdot (D_0 / D_1); \quad (2.77)$$

$$D_0 = 0,078 \cdot 1,5 = 0,117 \text{ м} = 117 \text{ мм.}$$

Показник політропи розширення у напрямному апараті:

$$\frac{n_c}{n_c - 1} = \frac{k}{k - 1} + \frac{L_c}{R_T \cdot (T_T - T_1)}; \quad (2.78)$$

$$\frac{n_c}{n_c - 1} = \frac{1,4}{1,4 - 1} - \frac{5987}{287 \cdot (896 - 855,68)} = 2,98.$$

Тиск газу на виході з напрямного апарату:

$$p_1 = p_T \cdot (T_1 / T_T)^{n_c / (n_c - 1)}; \quad (2.79)$$

$$p_1 = 0,129 \cdot (855,68 / 896)^{1,5 / (1,5 - 1)} = 0,11 \text{ МПа.}$$

Щільність газового потоку:

$$\rho_1 = p_1 \cdot 10^6 / (R_T \cdot T_1); \quad (2.80)$$

$$\rho_1 = 0,11 \cdot 10^6 / (286 \cdot 855,68) = 0,449 \text{ кг/м}^3.$$

Ширина лопаток напрямного апарату:

$$b_1' = G_T / (\pi \cdot D_1 \cdot c_1 \cdot \rho_1 \cdot \sin \alpha_1); \quad (2.81)$$

$$b_1' = 0,18 / (3,14 \cdot 0,078 \cdot 301,49 \cdot 0,449 \cdot \sin 25^\circ) = 0,0128 \text{ м} = 12,8 \text{ мм.}$$

					КП АІ 22.19.00.00 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Адіабатична робота розширення газу в колесі турбіни:

$$L_{p.ж} = \rho_T \cdot L_{ад.м}; \quad (2.82)$$

$$L_{p.ж} = 0,5 \cdot 102870 = 51435 \text{ Дж / кг.}$$

Відносна швидкість газу на виході з робочого колеса:

$$w_2 = \psi \cdot \sqrt{w_1^2 + 2L_{p.ж} - u_1^2 \cdot (1 - \overline{D}_{2cp}^2)}; \quad (2.83)$$

$$w_2 = 0,845 \cdot \sqrt{127,41^2 + 2 \cdot 51435 - 276^2 \cdot (1 - 0,73^2)} = 244,2 \text{ м / с.}$$

де $\psi = 0,845$ – коефіцієнт швидкості; $\overline{D}_{2cp}^2 = D_{2cp} / D_1 = 0,0572 / 0,078 = 0,73$ – відносний середньоквадратичний діаметр колеса на виході.

Окружна швидкість на діаметрі D_{2cp} :

$$u_{2cp} = \pi \cdot D_{2cp} \cdot n_T / 60; \quad (2.84)$$

$$u_{2cp} = 3,14 \cdot 0,0572 \cdot 51600 / 60 = 154,46 \text{ м / с.}$$

Абсолютна швидкість на виході з колеса:

$$c_2 = \sqrt{w_2^2 - u_{2cp}^2}; \quad (2.85)$$

$$c_2 = \sqrt{244,2^2 - 154,46^2} = 189,14 \text{ м / с.}$$

Температура газу на виході з колеса:

					КП АІ 22.19.00.00 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_2 = T_1 - \frac{1}{k_T \cdot R_T / (k_T - 1)} \cdot \left[(1 - \alpha_f) \cdot u_1^2 - \frac{c_1^2 - c_2^2}{2} \right]; \quad (2.86)$$

$$T_2 = 855,68 - \frac{1}{1,34 \cdot 286 / (1,34 - 1)} \cdot \left[(1 - 0,08) \cdot 276^2 - \frac{301,49^2 - 189,14^2}{2} \right] = 817,95 \text{ К.}$$

де $\alpha_f = 0,08$ – коефіцієнт дискових втрат;

Адіабатичний ККД турбіни без урахування втрат з вихідною швидкістю:

$$\eta_{ад.м} = \frac{T_T - T_2}{T_T \cdot \left[1 - (p_2 / p_T)^{(k_T - 1) / k_T} \right]}; \quad (2.87)$$

$$\eta_{ад.м} = \frac{896 - 817,95}{896 \cdot \left[1 - (0,129 / 0,129)^{(1,34 - 1) / 1,34} \right]} = 0,87.$$

Адіабатичний ККД турбіни з урахування втрат з вихідною швидкістю:

$$\eta_{ад.м} = \eta'_{ад.м} - \frac{c_2^2}{2L_{ад.м}}; \quad (2.88)$$

$$\eta_{ад.м} = 0,87 - \frac{189,14^2}{2 \cdot 102870} = 0,69.$$

Загальний ККД турбіни:

$$\eta_T = \eta_{ад.м} \cdot \eta_{мк.мех}; \quad (2.89)$$

$$\eta_T = 0,69 \cdot 0,95 = 0,65.$$

ККД турбокомпресора:

$$\eta_{мк} = \eta_T \cdot \eta_{ад.жс}; \quad (2.90)$$

					КП АІ 22.19.00.00 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\eta_{mk} = 0,65 \cdot 0,66 = 0,429.$$

Потужність, що розвивається турбіною:

$$N_T = \frac{L_{ад.м} \cdot G_T}{1000} \cdot \eta_T; \quad (2.91)$$

$$N_T = \frac{102870 \cdot 0,18}{1000} \cdot 0,65 = 12,03 \text{ кВт.}$$

					КП АІ 22.19.00.00 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. ОХОРОНА ПРАЦІ

Техніка безпеки при технічному обслуговуванні та ремонті тракторів

Охорона праці та техніка безпеки - це комплекс заходів та відповідних прийомів виконання робіт, що забезпечують збереження здоров'я працівників на виробництві.

Відповідальність за охорону праці та техніку безпеки, а також за проведення заходів щодо зниження та попередження виробничого травматизму, професійних захворювань у цілому по підприємству покладається на керівника підприємства, а по окремих ділянках – на відповідних керівників.

Для попередження виробничого травматизму на кожному підприємстві розробляються і доводяться до відома працюючих відповідні правила техніки безпеки та пожежної безпеки.

Керівництво підприємства зобов'язане забезпечити своєчасне та якісне проведення інструктажу та навчання працюючих безпечним прийомам та методам роботи.

Велике значення попередження виробничого травматизму під час виробництва поточного ремонту тракторів має правильна організація робочого місця.

Приміщення для стоянки тракторів, зон обслуговування, майстерень та цехів повинні утримуватися в чистоті та добре вентилюватися. Трактори слід встановлювати на стоянці та для ремонту так, щоб були вільні проходи та доступ до всіх агрегатів. Усі проїзди та проходи мають бути вільними, а рух тракторів на території організований за певною схемою, що виключає зустрічний рух та можливість наїзду на людей. Категорично забороняється водіння тракторів особами, які не мають прав водія.

У відпрацьованих газах двигунів з іскровим запалюванням міститься окис вуглецю (чадний газ), а у дизелів - акролеїн. Тому рух тракторів і робота

					КП АІ 22.19.00.00 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

двигунів у приміщеннях гаража повинні бути мінімальними, оскільки газу, що відпрацювали, шкідливі для здоров'я і можуть при певній концентрації викликати отруєння.

При встановленні трактора на пост обслуговування або ремонту необхідно надійно загальмувати його ручним гальмом або підкласти упори під колеса. Обслуговувати та ремонтувати трактор із працюючим двигуном не дозволяється. Дуже небезпечна робота під трактором при вивішених колесах. Тому підняту частину або бік трактора необхідно встановити на спеціальні металеві підставки - козелки, не допускаючи підкладання випадкових предметів - цегли, дощок, цурбаків, деталей трактора.

Не можна виконувати роботи під трактором, якщо його піднято лише домкратом. У разі потреби, працюючи під трактором лежачи, слід скористатися підкатними візками з підголовником.

Транспортування знятих з трактора агрегатів має здійснюватися на спеціальних візках.

При роботі під трактором в оглядовій канаві, що не має освітлення, можна користуватися переносною лампою, що підключається до мережі з напругою не більше 12 В.

Монтажно-демонтажні роботи слід виконувати лише справним інструментом певного призначення.

Важкі роботи зі зняття та встановлення агрегатів слід виконувати із застосуванням спеціальних підйомних пристроїв, захватів та знімачів; обв'язування при цьому агрегатів мотузкою не допускається.

У зв'язку з широким застосуванням при експлуатації трактора отруйних рідин, таких, як бензин і антифриз, слід дотримуватися особливих запобіжних заходів при роботі з ними. При використанні бензину не допускається засмоктувати його ротом, мити руки, продувати ротом жиклери або паливопроводи.

					КП АІ 22.19.00.00 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приміщення, де здійснюється обслуговування або ремонт трактора повинні бути обладнані надійною припливно-витяжною вентиляцією, а також умивальником з теплою водою та милом.

Антифриз, що містить етиленгліколь, у разі потрапляння в організм викликає тяжкі отруєння, іноді зі смертельним результатом. При отруєнні цією рідиною необхідно вживати термінових заходів до очищення шлунка та викликати блювоту. Після роботи з антифризом слід мити руки теплою водою з милом.

У виробничих приміщеннях, де проводиться технічне обслуговування та ремонт тракторів, існує система пожежної безпеки, що складається з автоматичних засобів гасіння пожежі (сплінкерна система) та ручних засобів (пожежні крани, шланги, брандспойти, вогнегасники, хімічні порошки, пісок та ін.). На території всього персоналу потрібне бездоганне виконання всіх правил пожежної безпеки: куріння тільки у відведених місцях, заборона користування відкритим вогнем, бензином для миття деталей. Особливу увагу необхідно звертати на зберігання легкозаймистих матеріалів, чистоту приміщень та справність електропроводки та електроприладів, а також виробництво зварювальних, медичних та малярських робіт.

					КП АІ 22.19.00.00 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В ході виконання дипломного проєкту було проаналізовано технічні характеристики трактора МТЗ-82 та зроблено висновок про його досить високі експлуатаційні характеристики. Саме через це трактори цієї моделі використовуються в переважній більшості аграрних господарств. Проте за показниками економічності та потужності даний трактор значно поступається сучасній техніці. Серед низки варіантів модернізації трактора є можливість збільшити потужність та поліпшити умови спалювання пального, а отже підвищити економічність за рахунок наддуву додаткового повітря в циліндри. В сучасній техніці для цього широко використовуються трубокомпресори. Саме розрахунок двигуна на базі Д-240 з наддувом було метою дипломного проєктування. Було проведено розрахунок основних параметрів силового агрегату. За результатами розрахунку впливає, що розрахований силовий агрегат майже на 19% потужніший та його питома ефективна витрата палива на 30% нижча. Також, було виконано розрахунок основних параметрів турбокомпресора. З огляду на значні об'єми робіт при модернізації трактора було приділено увагу питанню охорони праці при проведенні ремонтних робіт.

					КП АІ 22.19.00.00 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Бібліографічний список

1. Земельний кодекс України. Сільський час. П'ятниця, 16 листопада 2001 року, №66 (268) – (м. Київ, 25 жовтня 2001 року №2768 - III).
2. Про оренду землі. ЗакУкраїни від 6 жовтня 1998 року №161 – XIV. - К: Відомості Верховної Ради України, №46 – 47,1998. – 882 ...890 с.
3. Операционная технология возделования сахарной свеклы / В.С. Глуховський, Н.М. Зуев, С.А. Забаштанский и др. – К.: Урожай, 1988. – 240с.
4. Агрономическая тетрадь по индустриальной технологи производства сахарной свеклы / А.Н. Ткаченко, А.Т. Денисенко, Г.Д. Загородный и др. – К.: Урожай, 1986. – 144с.
5. Управління врожайності цукрових буряків / І.Ф. Корненко, С.Ю. Герсименко та ін. – К.: Урожай, 1991. – 192с.
6. Довідник буряководи / В.Ф. Зубенко, В.В. Фовчук та ін. – К.: Урожай, 1986. – 232с.
7. Ковтун Ю.И. Состояние и тенденции развития машинной технологии и конструкций машин в свеклопроизводстве за рубежом. – Харьков.: Прапор, 1986. – 81с.
8. Гапоненко В.С, Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини. – К.: Урожай, 1988. – 384с.
9. Довідник з експлуатації машинно-тракторного парку / В.Ю.Ільченко, П.І. Карасьов, А.С. Лімонт та ін. – К.: Урожай, 1987. – 368с.
10. Пособие по эксплуатации машинно-тракторного парка / Фере Н.Э., Бубнов В.З., и др. – М.: Колос, 1978. – 256с.
11. Сельскохозяйственная техника (каталог) / Беляев Н.М., Борсуков А.Ф., Герасимов Ю.Ю и др. – М.: Полиграфкника, 1981. – 563с.
12. Коненко Н.П. Экономический сельскохозяйственный справочник. – К.: Урожай, 1984. – 374с.

					КП АІ 22.19.00.00 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 13.Собко А.А. Программирования урожаев в основу прогресивных технологий. – К.: Урожай, 1988. – 297с.
- 14.Иофинов С.А., Бабенко Э.П., Зуев Ю.А. Справочник по эксплуатации машинно-тракторного парка. – М.: Агропромиздат, 1985. – 268с.
- 15.Антышев Н.М., Бычков Н.И. Справочник по эксплуатации тракторов. – М.: Россельхоздат, 1985. – 335с.
- 16.Лаум П.В. Эксплуатация и ремонт машинно-тракторного парка. – к.: Вища школа. 1984. – 204с.
- 17.Никитин А.Ф. Скорость движения и качество работы ботвоуборочной машины, 1985 №9 с.3...5.
- 18.Чернавский С.А. и др. Курсовое проектирование деталей машин. – М.: Машиностроение, 1979. – 351с.
- 19.Никифоров І.О. Довідник по плануванню сільськогосподарського виробництва. – К.: Урожай, 1984. – 229с.
- 20.Ефективність буряківництва в умовах інтенсивності / А.А. Зелінський, Л.С. Павличко, О.Н. Парубок. – К.: Урожай, 1989. – 128с.
- 21.Справочник по эксплуатации свеклоуборочных комплексов /А.М. Мазуренко, И.И. Русенов, В.И. Сухомлин и др. – К.: Урожай, 1984. – 126с.
- 22.Техническое описание и инструкция по эксплуатации корнеуборочной машины БМ – 6Б. Тернополь 1990 г.
- 23.Глебов Ю.П. Совершенствования оргнизации инструктажа по охране труда на сельскохозяйственных предприятиях. – М.:Агропромиздат.1988 – 61с.
- 24.Филатов С. Безопасность труда в сельскохозяйственном производстве. – М.: Росагропромиздат.1988 – 364с.
- 25.Довідник з охорони праці в сільському господарстві (запитання і відповіді) С.Д. Лехман, В.П. Целинский, С.М. Кодирев та ін. – К.: Урожай, 1990. – 400с

					КП АІ 22.19.00.00 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		