

Центральноукраїнський національний технічний університет
Агротехнічний факультет
Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”

зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

_____Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

« ____ » _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
на тему:

Модернізація зерносушарки А1-ДП-50 з розробкою
зернообмінника

Виконав здобувач вищої освіти IV
курсу, групи ГМ-21

ОПП «Галузеве машинобудування»
спеціальності 133 «Галузеве
машинобудування»

_____Костюк Тарас Вікторович

« ____ » _____ 2025 р.

Керівник проекту

доц., канд. техн. наук

_____Володимир ОНОПА

« ____ » _____ 2025 р.

Рецензент

доц., док. техн. наук

_____Володимир ЯЦУН

« ____ » _____ 2025 р.

м. Кропивницький

Формат	Зона	Позиція	Позначення	Найменування	Кількість	Примітки
				<u>Документація загальна</u>		
				<i>Заново розроблена</i>		
			<i>ДСА 00.000 ПЗ</i>	<i>Пояснювальна записка</i>		
				<u>Документація по конструкторській</u>		
				<u>частині</u>		
				<i>Заново розроблена</i>		
A1			<i>ДСА 00.000 СБ</i>	<i>Зерносушарка А1-ДП-50</i>		
				<i>Складальне креслення</i>	1	
A1			<i>ДСА 02.010.001 СБ</i>	<i>Повітророзподільний короб</i>		
				<i>Складальне креслення</i>	1	
A1			<i>ДСА 09.000 СБ</i>	<i>Механізм розвантаження</i>		
				<i>Складальне креслення</i>	1	
A3			<i>ДСА 09.008.104</i>	<i>Ролик</i>	1	
A3			<i>ДСА 09.013.602</i>	<i>Пружина</i>	1	
A4			<i>ДСА 09.010.609</i>	<i>Палець</i>	1	
A4			<i>ДСА 09.008.603</i>	<i>Вісь</i>	1	

				<i>ДСА 00.000 ВП</i>					
<i>Зм. Аркуш</i>	<i>№ док.им.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Відомість кваліфікаційної роботи</i>			<i>Літера</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розробив</i>	<i>Костюк</i>								1
<i>Перевірив</i>	<i>Онопа</i>								
<i>Н. контр.</i>	<i>Мачак</i>								
<i>Затв.</i>	<i>Васильківський</i>								
				<i>ЦНТУ. гр. ГМ-21</i>					

Анотація

У кваліфікаційній роботі розглянуто техніко-технологічне удосконалення шахтної зерносушарки шляхом впровадження теплоутилізаційного вузла – зернообмінника. Запропоноване конструктивне рішення забезпечує попередній термоконттактний прогрів зерна до температури 40–46 °С, що дало змогу скоротити тривалість тепломасообмінного процесу, підвищити продуктивність сушарки з 60 до 75 т/год без збільшення витрат палива, а також збільшити корисну масу оброблюваного матеріалу на 327 кг.

У ході дослідження було виконано модернізацію повітророзподільної системи, що дало змогу знизити масу конструкції на 1455 кг, вдосконалено механізм видачі зерна, що забезпечило його безперервну дію, а також підвищено ремонтпридатність рухомої рами завдяки заміні сталевих роликів на шарикопадшипники типу 60000.

Технічна новизна полягає у комплексному підході до підвищення енергоефективності, надійності та експлуатаційної стабільності зерносушального агрегату без зростання витрат. Практичне значення розробки полягає у можливості інтеграції запропонованих рішень у серійні зразки обладнання для зменшення енерговитрат у зернопереробній галузі.

Ключові слова: зерносушарка, енергоефективність, зернообмінник, тепломасообмін.

Abstract

The qualification thesis presents a technical and technological improvement of a shaft-type grain dryer through the implementation of a heat recovery unit – a grain exchanger. The proposed engineering solution ensures preliminary thermal contact preheating of grain to 40–46 °C, which significantly reduces the duration of the heat and mass transfer process and increases dryer productivity from 60 to 75 t/h without increasing fuel consumption. Additionally, the effective grain mass processed is increased by 327 kg.

The study includes the modernization of the air distribution system, resulting in a 1455 kg reduction in structural weight, the transformation of the batch grain discharge mechanism into a continuous one, and the enhancement of the moving frame's maintainability through the replacement of steel rollers with closed ball bearings type 60000.

The technical novelty lies in the integrated approach to improving energy efficiency, reliability, and operational stability of the grain drying unit without raising operating costs. The practical significance of the development is the feasibility of integrating the proposed solutions into serial equipment to reduce energy consumption in the grain processing sector.

Keywords: grain dryer, energy efficiency, grain exchanger, heat and mass transfer.

ВСТУП

Процес термофізичної обробки зерна та насіння, зокрема їх сушка, становить фундаментальну складову післязбиральної технологічної підготовки продукції рослинництва до довготривалого зберігання та подальшої переробки. Актуальність і необхідність впровадження штучного (форсованого) сушіння обумовлюється підвищеним рівнем гігроскопічної вологи у насінневому матеріалі, що зберігається в зерновій масі після збирання врожаю. Згідно з агропромисловими статистичними даними, до 80 % валового збору зерна й насіння надходить до хлібоприймальних підприємств та на господарські токи із вологістю, що перевищує допустимі межі: для зернових культур – до 20 %, для олійних – до 12 %. За таких умов забезпечити тривалу біологічну стабільність, фізико-хімічну інертність та запобігання мікробіологічному ураженню насіння можливо лише за рахунок своєчасного, енергоефективного та технологічно оптимізованого процесу дегідратації.

Під час сушіння зернового матеріалу спостерігається реалізація ряду взаємопов'язаних фізико-теплотехнічних явищ: теплообмін між агентом сушіння та зерновими частинками, внутрішньозерновий масообмін вологи (градієнт вологовмісту), фазовий перехід вологи на поверхні зерна, дифузія парів у зовнішнє середовище, а також термовологообмін зумовлений наявністю температурного градієнта. Загальна ефективність сушильного процесу істотно залежить від таких параметрів, як товщина шару оброблюваного матеріалу, частота його перемішування, інтенсивність термопереносу та конструктивно обумовлені умови аерації.

Залежно від механізму видалення вологи, у технологічній практиці застосовуються три принципово різні методи сушіння: тепловий

					<i>ДСА 00.000 ПЗ</i>		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Костюк				Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Онопа						
						6	40
Н. контр.	Мачок				ЦНТУ, гр. ГМ-21		
Затв.	Васильковський						

(конвективний і вакуумний), сорбційний (контактний) та механічний (відтискання, центрифугування). Найбільшого поширення набули теплові методи, зокрема сушіння конвективного типу, що реалізується у шахтних, рециркуляційних, барабанних, стрічкових та інших сушильних апаратах. Контактне (кондуктивне) сушіння базується на теплообміні зерна з нагрітою твердою поверхнею, проте характеризується високими витратами енергоносіїв і, як наслідок, обмеженим впровадженням у галузі. Механічне зневоднення використовується переважно у мийно-очисних секціях борошномельного виробництва.

Метою даного дипломного проєкту є інтенсифікація експлуатаційних характеристик шахтної зерносушарки типу А1-ДП-50 шляхом конструктивного удосконалення вузлів повітрярозподілу та розробки механізму рівномірного вивантаження зернового матеріалу, що забезпечить підвищення її продуктивності при зниженні питомих енерговитрат.

2. СТАН ПИТАННЯ ПРО СУШАРКУ, ЯКА ПІДЛЯГАЄ МОДЕРНІЗАЦІЇ

2.1. Опис об'єкту розробки

2.1.1. Державні стандартів та технологічні вимоги до машини.

Зерна сільськогосподарських культур, одержувані при збиранні врожаю, складаються із зерна основних культур і різних домішок органічного й мінерального походження. Свіжозібране зерно не задовольняє вимогам кондицій по засміченості й вологості. Під час зберігання в дуже засміченому зерні, особливо з підвищеною вологістю, активно протікають фізіологічні процеси, що може привести до самозігрівання. Тому на агропромислових господарствах свіжозібране зерно очищають і висушують, доводячи його до кондиційного стану, що забезпечує гарну схоронність.

					<i>ДСА 00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		7

Для зерна, що підлягає закупівлі приватними та державними підприємствами, установлені базисні й обмежувальні кондиції.

Очищене зерно повинне відповідати вимогам ДСТУ 2240-93.

Насіння I класу повинне мати чистоту не меншого 99 %, зокрема обрушеного насіння - не більше 1 %. Насіння інших рослин в 1 кг допускається не більше 5 шт., зокрема бур'янів - не більше 2 шт.

Післяжнивна обробка насіння - важливий етап в системі прийомів по збереженню якості урожаю. При цьому своєчасна сушка насіння є основним етапом на шляху до успішного зберігання, яке дозволить зберегти якість насіння при можливому тривалому зберіганні.

2.2.2. Загальна будова, принцип роботи, технічна характеристика і регулювання машини та пропозиції по її модернізації

Зерносушарки відкритого типу застосовують на хлібоприймальних підприємствах і встановлюють їх на потокових лініях по прийманню, очищенню, сушінню, складуванню й відвантаженню зерна, а також безпосередньо біля елеваторів і складів. Зерносушарку (рис. 2.1) встановлюють поза будівлею у прив'язці до силосних корпусів або робочого будинку елеватора, а також у механізованих технологічних лініях післязбиральної обробки в прив'язці до складів.

Зерносушарка А1-ДП-50 на відміну від інших зерносушарок типу шахтних має металеві шахти. Вона отримала найбільше розповсюдження в нашій країні через компактність, надійності, низької вартості, можливості сушіння всіх зернових культур. Виготовляють її в заводських умовах у вигляді окремих секцій і вузлів. Складання секцій між собою й вузлами проводять на місці будівництва. Топку розміщують в окремому двоповерховому будинку, що примикає до зерносушарки.

Шахта по висоті має 27 рядів що підводять і 29 рядів коробів, що відводять, з них у першій зоні 24, у другий - 14 і в охолоджувальній камері -

						ДСА 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата			8

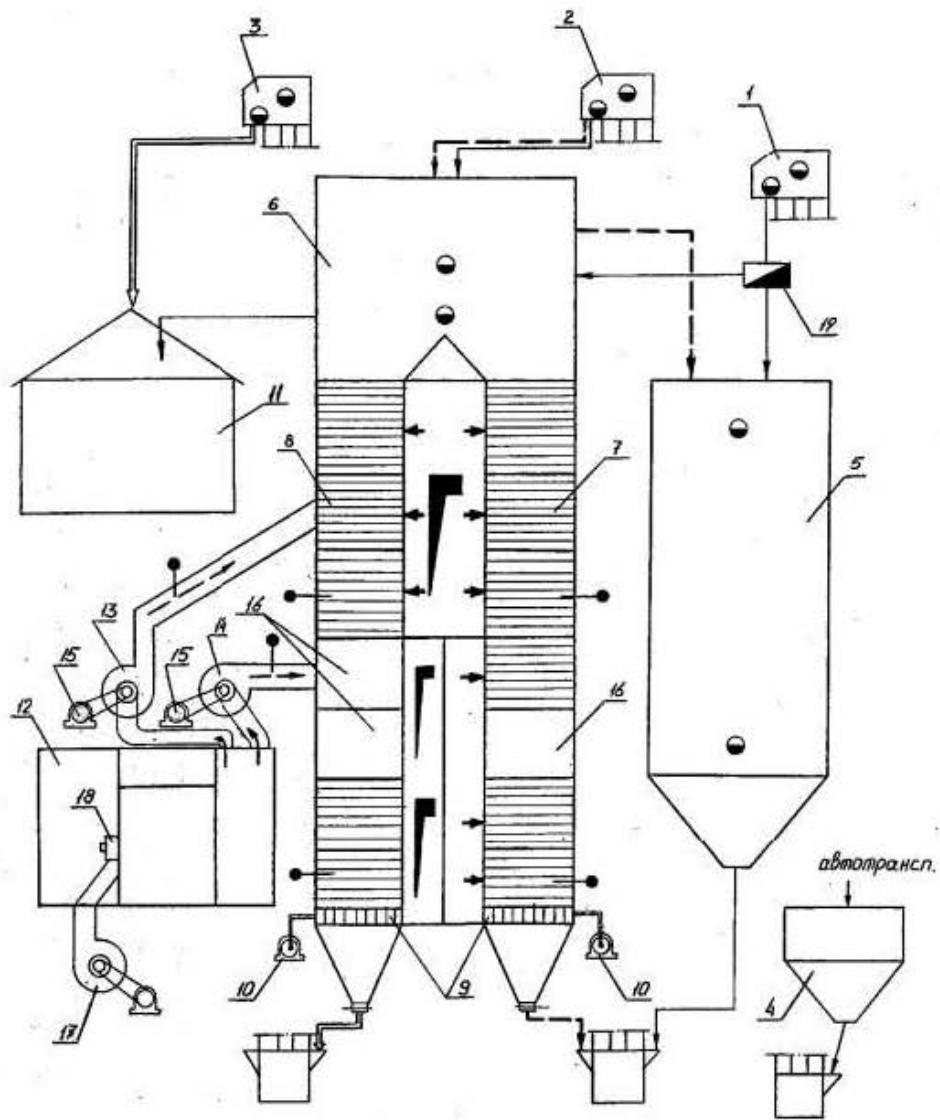


Рис. 2.1. Зерносушарка А1-ДП-50:

1 - норія сирого зерна II – 100; 2 - норія рециркуляційна II – 100; 3 - норія сухого зерна II – 100; 4 - приймальний бункер сирого зерна; 5 - накопичувальний бункер сирого зерна; 6 - надсушільний бункер; 6 - шахта рециркуляційна; 7 - шахта для кінцевого сушіння; 8 - випускні механізми; 9 - електроприводи випускних механізмів; 10 - бункер або склад сухого зерна; 11 - топка на газоподібному паливі; 12 - вентилятор 1-ї зони Ц4-70 №10; 13 - вентилятор 2-ї зони Ц4-70 №10; 14 - електроприводи вентиляторів; 15 - зона відлежування зерна; 16 - вентилятор подачі повітря на форсунку; 17 - форсунка Ф-1; 18 - клапан перекидний с ручним керуванням ПК-15

Зм	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

ДСА 00.000 ПЗ

Арк

10

1	2
Питома витрата тепла, ккал/кг вип. вол./кДж/кг вип. вол.	$\frac{1200}{(5040)}$
Установлена потужність, кВт	125
Споживана потужність, кВт	78,5
Питома витрата електроенергії, кВт-год/т	2,5
Температура агента сушіння в сушильній зоні, °С: першої другий	50...130 50...160
Число рядів коробів: перша сушильна зона друга сушильна зона охладжувальна зона	23 14
Число коробів в одному ряді	16
Габарити зерносушарки, мм: довжина ширина висота	3500 8000 19000
Витрата агента сушіння, м ^{3/4} перша сушильна зона друга сушильна зона	80000 42000
Витрата атмосферного повітря на охолодження зерна	49000
<u>Вентилятори</u> Перша зона марка частота обертання робочого колеса, об/хв друга зона марка частота обертання робочого колеса, об/хв охладжувальна зона марка частота обертання робочого колеса, об/хв	Ц 4-76 № 12 980 Ц 4-76 № 10 1050 Ц 4-76 № 12 630
Маса зерносушарки, кг	20100
Маса зерна в сушарці (при об'ємній масі 750 кг/м ³), т	82

Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

ДСА 00.000 ПЗ

Арк.

13

(поличками). Рама зварена зі смугової - сталі товщиною 16 мм. Рухлива рама спирається чотирма парами роликів на пластини довжиною 300 мм, товщиною 60 мм. Змінюючи число пластин, можна регулювати зазор між рухливою й нерухливою рамами. Для повернення рами у вихідне положення з боків механізму встановлюють дві циліндричні пружини. Ширину полиць вибирають із таким розрахунком, щоб у закритому положенні випускного пристрою зерно з них не зсипалося. Зазор між верхньою й нижньою рамами 3-5 мм. Рухлива рама приводиться в рух за допомогою тяг 6 і 8 і кривошипа 7 від спеціального електропривода. При відкритті затвора випускні отвори відкриваються повністю. Кількість зерна, що випускається із шахти, продуктивність зерносушарки регулюють за допомогою командного апарата або реле часу (числом відкриттів затвора). Періодичний випуск великої кількості зерна приводить до швидкого опускання зерна в шахті й кращому його змішуванні, однак тривалість між відкриттями затвору більше 60 із приводить до того, що частина зерна нерухомо лежить на нагрітих площинах коробів, і це може привести до погіршення його якості.

Облік роботи зерносушарки А1-ДСП-50

Для обліку кількості просушеного зерна його зважують до і після сушіння, однак, облік ведуть за масою зерна, що направляється на сушку. Роботу зерносушарки реєструють у спеціальному журналі

Журнал веде оператор-зерносушільщик, в нього переносяться дані (свідчення) приладів і дані аналізів лабораторії. При дворазовому пропуску зерна (і більше) через зерносушарку однієї партії, кожен пропуск враховується окремо. Продуктивність зерносушарки, у фізичному вирахованні, виражається в тонно-годинах, маса просушеного зерна в тоннах, а в умовному обчисленні - відповідно до планових тоннах. Звітність ведуть як у фізичному, так і в плановому обчисленні

Витрата натурального палива (використовується природний газ 8100 Ккал/м³, щільністю 0,73 кг/см³) при сушінні зерна враховують за

						<i>ДСА 00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата			16

показаннями лічильника або по виміру витраченого палива. Витрата натурального палива, для зіставлення, призводять до умовного значенням, калорійність якого приймається 29330 кДж / кг палива

Витрата електроенергії враховують за показаннями електролічильника або виміром електроклещамі і обліку фактичного часу роботи зерносушарки

Таблиця 2.2.

Вищі межі температури агента сушіння і нагрівання зерна продовольчого і кормового в шахтних рециркуляційних зерносушарках

Культура	Початкова вологість, %	Температура, град Цельсія	
		нагрів зерна	агента сушіння
Пшениця с нормальною клейковиною	до 17,0	60	180
	св. 17,0	55	170
Пшениця твердих, сильних та цінних сортів	до 20,0	60	160
	св. 20,0	55	150
Гречка	не залежить від початкової вологості	45	120
Високоолійні сорти соняшнику	до 15,0	60	160
	св. 15,0	55	150
	св. 20,0	55	130

Вентилятори зерносушарки А1-ДСП-50

Відцентрові вентилятори ділять на три групи, що розрізняються величиною повного тиску, що розвивається ними при максимальному ККД

- низького тиску при $H < 1000$ Па; середнього тиску при $H = 1000-3000$ Па; високого тиску при $H = 3000-12000$ Па

У зерносушарках для подачі агента сушіння і повітря використовуються відцентрові вентилятори низького та середнього тиску

У виробничих умовах потужність ел. двигуна беруть із запасом, для чого до отриманої за формулою потужності додають 10%

Вентилятори випускаються і застосовуються двох видів

- лівого обертання; правого обертання

Вентилятор лівого обертання вважається по ходу руху повітря. Якщо дивитися з боку вхідного патрубку, то робоче колесо обертається проти годинникової стрілки, повітря рухається вліво. Вентилятор правого

обертання, коли робоче колесо обертається за годинниковою стрілкою, а повітря вправо

2.3. Пропозиції щодо модернізації зерносушарки

В процесі модернізації шахтної сушарки А1-ДП-50 запропоновано внести конструктивні зміни до вузлів: повітророзподільних коробів, механізмів завантаження та розвантаження.

Для економії енергоресурсів запропоновано встановити зернообмінник з сторони виходу відпрацьованого агента сушіння з сушильної камери у навколишнє середовище. Зернообмінник виконує функцію прогріву зернового матеріалу з подальшою подачею його у надушильний бункер сушарки. Завдяки тому, що зерно у ньому прогрівається до температури 40-46°C, можна зменшити час знаходження зерна у сушильній камері і підвищити продуктивність 60 до 75 т/год при однакових витратах палива. Збільшується маса на 327 кг.

Внаслідок встановлення зернообмінника потребують зміни форма, розміри та тип повітророзподільних коробів для виведення відпрацьованого агента сушіння з камери сушіння у сам зернообмінник. Базові повітророзподільні коробки (масою 14 кг) замінено на перфоровані трикутні коробки (970 шт.) масою (12.5 кг). Зменшується маса сушарки на 1455 кг.

Випускний механізм періодичної дії переобладнано на випускний механізм безперервної дії, що обумовлено новим режимом роботи сушарки. Привід механізму має вертикальну тягу 8 довжиною 2,65 м, що пов'язано з конструктивним виконанням. Пропонується зменшити тягу до 0,32 м шляхом встановлення механізму приводу вище ексцентрика. Рухлива рама встановлена на ролики 2, які рухаються по напрямним нерухомої рами. Ролики не мають підшипників і являють собою сталеві диски, що посаджені вільною посадкою на сталеві вісі. Під час експлуатації виявлено, що дані

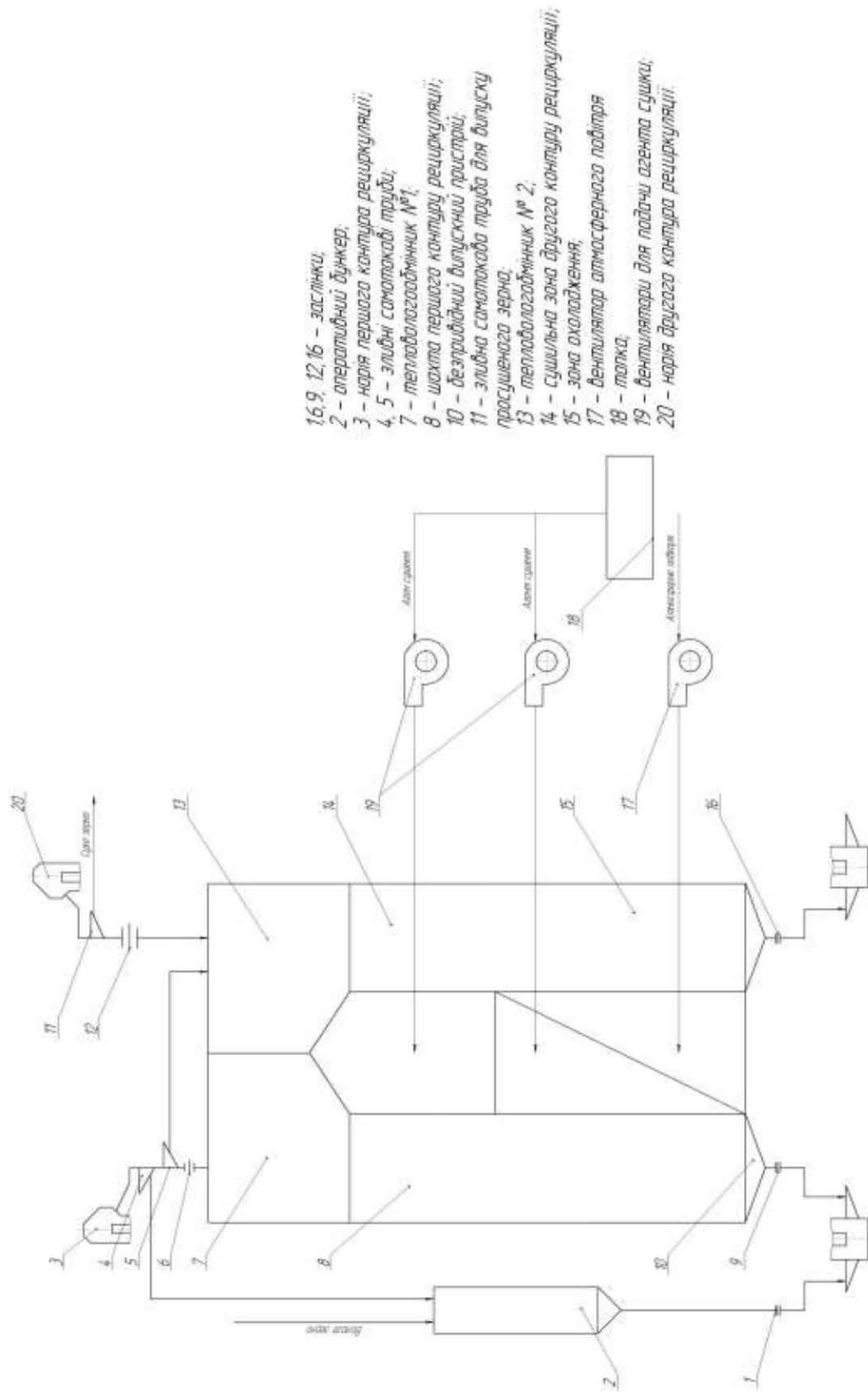


Рис. 2.5. Технологічна схема модернізованої зерносушарки А1-ДП-50 з двома контурами рециркуляції.

Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

ДСА 00.000 ПЗ

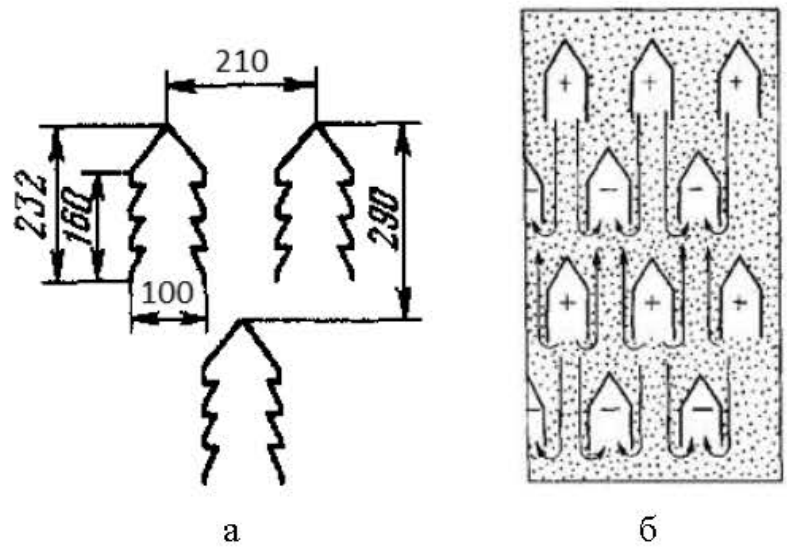


Рис. 2.6. Розташування повітророзподільних коробів:

а – конструктивні значення щодо розташування коробів; б) розташування коробів, які подають агент сушіння (+) та тих, які відводять агент сушіння з сушильної камери коробів (-).

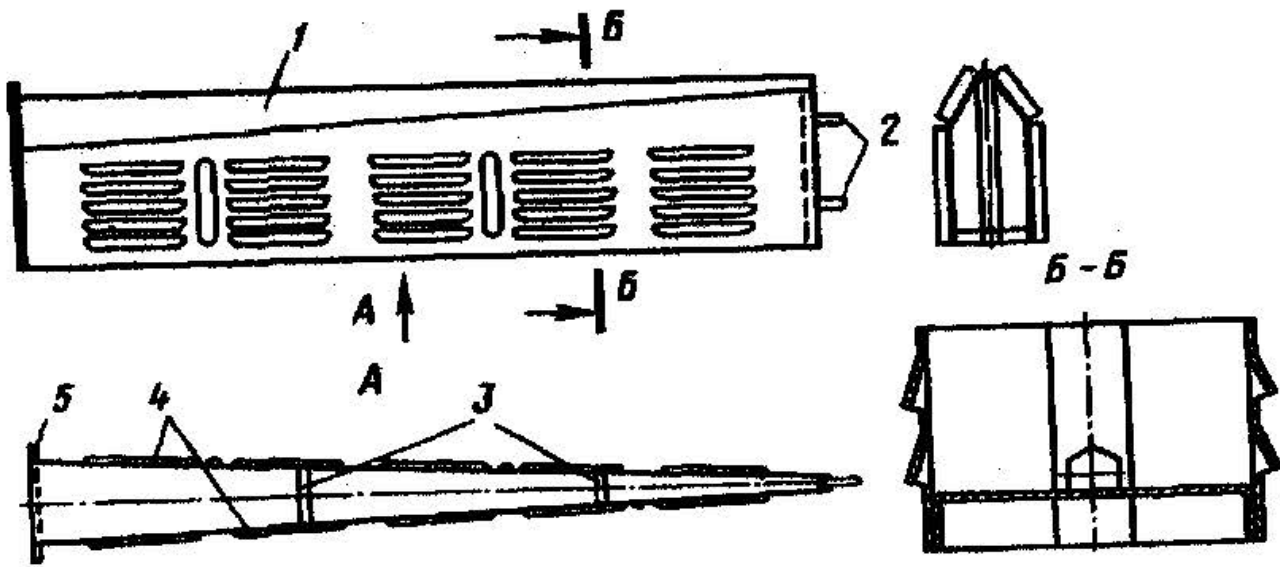


Рис. 2.7. Модернізований повітророзподільний короб:

1 – верхня частина короба; 2 – шпильки для кріплення короба; 3 – перетинки; 4 – бічні стінки короба; 5 – фланець короба.

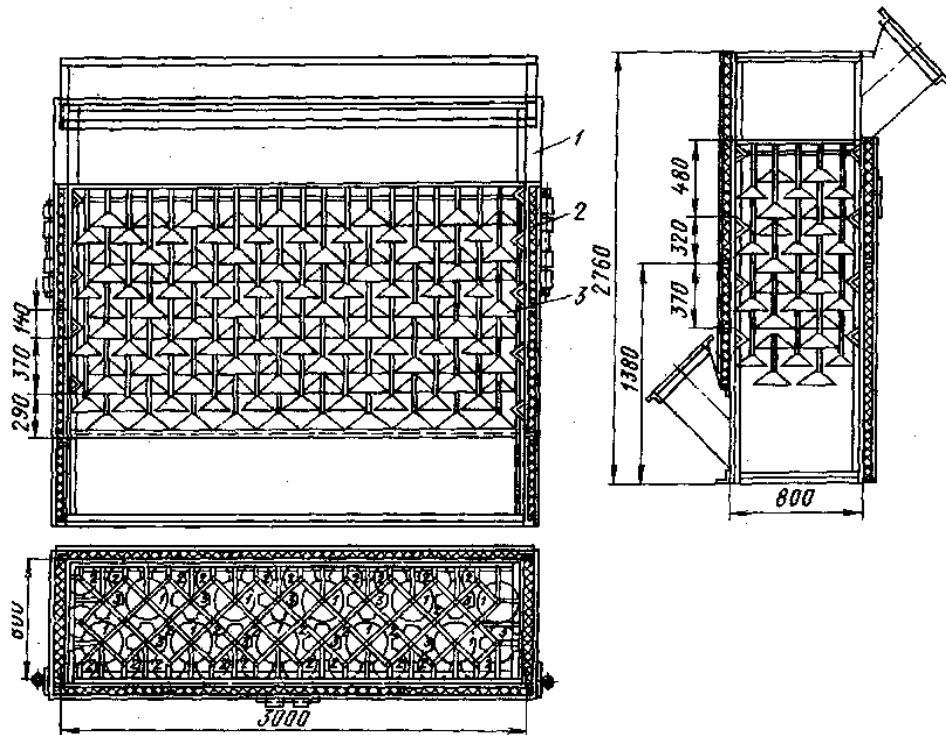


Рис. 2.8. Зернообмінник:

1 – металевий корпус; 2 – теплоізоляційний матеріал; 3 – конуси

Механізм завантаження матеріалу в сушарку, внаслідок збільшення динамічних навантажень із-за зміни режиму роботи, потребує заміни чотирьох пружин для повернення рухомих рам у закрите положення на такі, що мають більше зусилля і строк служби 42 000 год. Також

Механізм розвантаження складається з таких основних вузлів:

- каркасу з напрямними для горизонтального руху рам;
- рухомі рами, які рухаються на одна назустріч до іншої під час закриття (закінчення вивантаження) та одна від одної під час вивантаження матеріалу;
- механізму приводу рам (тяг, куліса, пружина електричний двигун).

Проаналізувавши конструкцію самої рухомої рами виявлено наступне. Рухома рама встановлена на ролики (20 штук на кожну раму), які рухаються по напрямним нерухомої каркасу. Ролики не мають підшипників і являють собою чавунні диски, що посаджені вільною посадкою на сталеві вісі. Під час експлуатації виявлено, що дані ролики потребують змащення

Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

ДСА 00.000 ПЗ

Арк.

22

через кожні 2400 годин при паспортному навантаженні зерносушильного агрегату. Для усунення даного недоліку пропонується встановити закриті шарикові підшипники типу 60000 ГОСТ 8338-85, що мають строк служби 480 000 годин.

3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1. Технологічний розрахунок

3.3.1. Визначення ступеня нагріву зерна в коробі зерносушарки

Тепло зерновому шару передається кондукцією, що може привести, якщо не врахувати тепловий потік кількісно, до місцевого перегріву насіння, якість їх погіршиться.

Розрахунок кондуктивного нагріву насіння необхідний, для правильного настроювання випускного пристрою шахтних сушарок.

Ступінь нагріву насіння у результаті контакту їх з нагрітою поверхнею можна розрахувати аналітично, якщо відомі тепло-фізичні властивості зерна [15]. При цьому для спрощення обчислень умовно не враховують перехідний опір у місцях контакту зерен з поверхнею й на ділянці шару з неупорядкованим їхнім укладанням (товщиною приблизно в 1/3 зерна), а термічні коефіцієнти тонких шарів зерна приблизно приймають як для зернового насипу.

За умови, що зерновий шар нерухомий (у період між відкриттями випускного затвора зерносушарки), початкова температура зерна t_0 (°C) однакова по всьому обсязі, а температура поверхні, що гріє, t_n (°C) постійна в часі, температуру зерна на будь-якій відстані x (у м) від поверхні, що гріє, у будь-який момент часу τ можна знайти по формулі:

$$t = t_0 - \theta \cdot (t_n - t_0).$$

При сушінні насіння у шахтних сушарках час контакту нетривалий, температурна хвиля від нагрітої поверхні проникає в зерновий шар неглибоко й не встигає досягти зони дії інших теплових джерел. У цьому випадку параметр θ визначають за графіком [22] для напівобмеженого тіла (рис. 3.1) залежно від числа Фур'є

$$F_0 = \frac{a \cdot \tau}{x^2},$$

де a - коефіцієнт температуропровідності зернового шару.

Для регулювання випускного пристрою сушарки необхідно визначити середню температуру шару товщиною, в одне зерно, що безпосередньо стикається з поверхнею, яка гріє. У цьому випадку параметр θ визначають за графіком на рис. 5.10.

Семена пшениці вологістю 19% і температурою $t_0 = 25^\circ\text{C}$ піддається сушінню в шахтній сушарці. Зерновий шар між відкриттями затвора нерухомий, що підводять коробки, що нагрівають, агентом сушіння, мають температуру $t_n = 45^\circ\text{C}$.

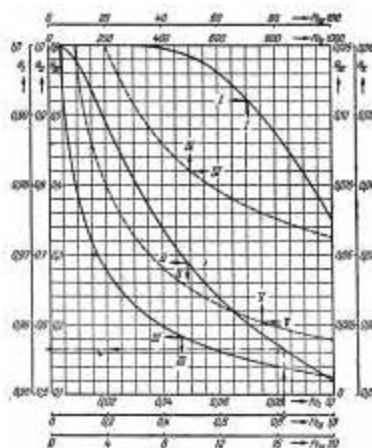


Рис 3.1. Графік для розрахунку локальної температури нагріву зерна контактуючого з гарячими поверхнями сушарки.

Зм	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

ДСА 00.000 ПЗ

Арк.

24

$$F_0 = \frac{a \cdot \tau}{x^2} = \frac{85,9 \cdot 10^{-9} \cdot 240}{0,025^2} = 0,0331;$$

$\theta = 0,9999$ за шкалою I;

$$t = t_0 - \theta \cdot (t_n - t_0) = 45 - 0,999 \cdot (45 - 25) = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Для шару насіння товщиною $\delta=0,003$ м обчислюємо

$$F_0 = \frac{a \cdot \tau}{\delta^2} = \frac{85,9 \cdot 10^{-9} \cdot 240}{0,003^2} = 2,29$$

і за графіком на рис. 5.9 знаходимо $\theta=0,180$

Визначаємо середню температуру шару

$$t_{\text{сеп}} = t_0 - \theta \cdot (t_n - t_0) = 45 - 0,180 \cdot (45 - 25) = 41,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Кількість тепла ΔQ_n (у Дж), передане напівобмеженому тілу нагрітою поверхнею на площі контакту S (м²) за період від τ_1 до τ_2 , визначається рівнянням

$$\Delta Q_n = \frac{2 \cdot \varepsilon}{\sqrt{\pi}} \cdot S \cdot (t_n - t_0) \cdot (\sqrt{\tau_2} - \sqrt{\tau_1}) = \frac{2 \cdot 444}{\sqrt{\pi}} \cdot 0,284 \cdot (45 - 25) \cdot (\sqrt{240} - \sqrt{0}) = 44,1 \cdot 10^3 \text{ Дж}$$

Згідно розрахунку кількість тепла, повідомлена зерну одним коробів сушарки А1-ДП-50 ($S=0,284$ м²) за перші 4 хв ($\tau_1=0$, $\tau_2=240$ с), складе 44,1 кДж або $44,1:4,19=10,5$ ккал.

З розрахунку видно, що в шарі, який безпосередньо контактує з нагрітою поверхнею, уже через 4 хв температура за даних умов перевищила б припустимий для насіння пшениці рівень (по інструкції 40° С). Разом з тим на відстані 25 мм від короба температура насіння лишилася незмінної,

Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

ДСА 00.000 ПЗ

Арк.

26

$$M_{пл} = M_{ф} \cdot K_{в} \cdot K_{к} \cdot K_{н} = 2350 \cdot 0,97 \cdot 1,0 = 2279,5 \text{ т}$$

Витрати натурального палива при сушінні зерна враховують за показниками лічильників або по вимірах витраченого палива в цистерні (для рідкого палива). Для зіставлення витрата натурального палива приводять до умовного, калорійність якого прийнята 29 330 кДж/кг палива.

3.1.3. Теоретичне обґрунтування вибору режиму сушіння

Під раціональним режимом сушіння розуміють такий режим, який забезпечує найбільш високу економічність процесу у співвідношенні тепло-електричних витрат та не викликає погіршення технологічних властивостей матеріалу.

Визначаючи режим сушіння, необхідно враховувати не тільки оптимальні умови процесу, а й типи сушарок.

У розрахунках сушарок приймають наступні значення параметрів сушіння:

- число ярусів завантаження;
- щільність завантаження за вагою абсолютно сухого матеріалу P_c , кг/м²;
- швидкість повітря у камері сушарки, ω , м/с;
- навколишнє повітря:
 - температура, t_0 , °С;
 - відносна вологість, φ_0 , %•
- температура повітря у сушарці:
 - на початку процесу, t_1 , °С;
 - у кінці процесу, t_2 , С
- абсолютна вологість матеріалу:
 - до сушіння, ω_1 , %;

$$\tau_{заг} = 0,0001285 \cdot 1,05 = 0,000135 \text{ хв}$$

3.3. Кінематичний розрахунок

3.2.1 Визначення основних параметрів вентилятора.

Визначаємо необхідну витрату повітря:

$$V = 36 \cdot v_a \cdot S,$$

де V – витрата повітря, м³/год; v_a – швидкість повітря в сушильній камері, м/с ($v_a = 14$ м/с); S – площа поперечного перерізу короба сушильної камери, дм² ($S = 13$ дм²);

$$V = 36 \cdot 16 \cdot 13 = 7552 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Розраховуємо втрати повного тиску в сушильній камері [17]:

$$p_{\kappa} = (0,1 + 0,00013 \cdot q_{\kappa F}) \cdot v_a^2 + \Delta p_p,$$

де p_{κ} – втрати повного тиску, кгс/м²; $q_{\kappa F}$ – завантаження одиниці площі перерізу короба, кг/(год·дм²); Δp_p – втрати повного тиску, кгс/м²,

$$\Delta p_p = 20 \text{ кгс/м}^2 \text{ [10];}$$

$$p_{\kappa} = (0,1 + 0,00013 \cdot 893) \cdot 15^2 = 325 \text{ кгс/м}^2.$$

По знайденим значенням витрати повітря і втрати повного тиску в сушильній камері приймаємо вентилятор серії ВРН №6, який згідно характеристики має такі параметри:

- к.к.д., що враховує втрати на перетікання повітря через зазор і втрати на тертя дисків і кілець колеса по повітрю $\eta_{пт} = 0,55$;
- частота обертання вала вентилятора $n = 1250$ об/хв;
- витрата повітря вентилятора $V=7356$ м³/год.

3.2.2. Розрахунки привода механізму завантаження

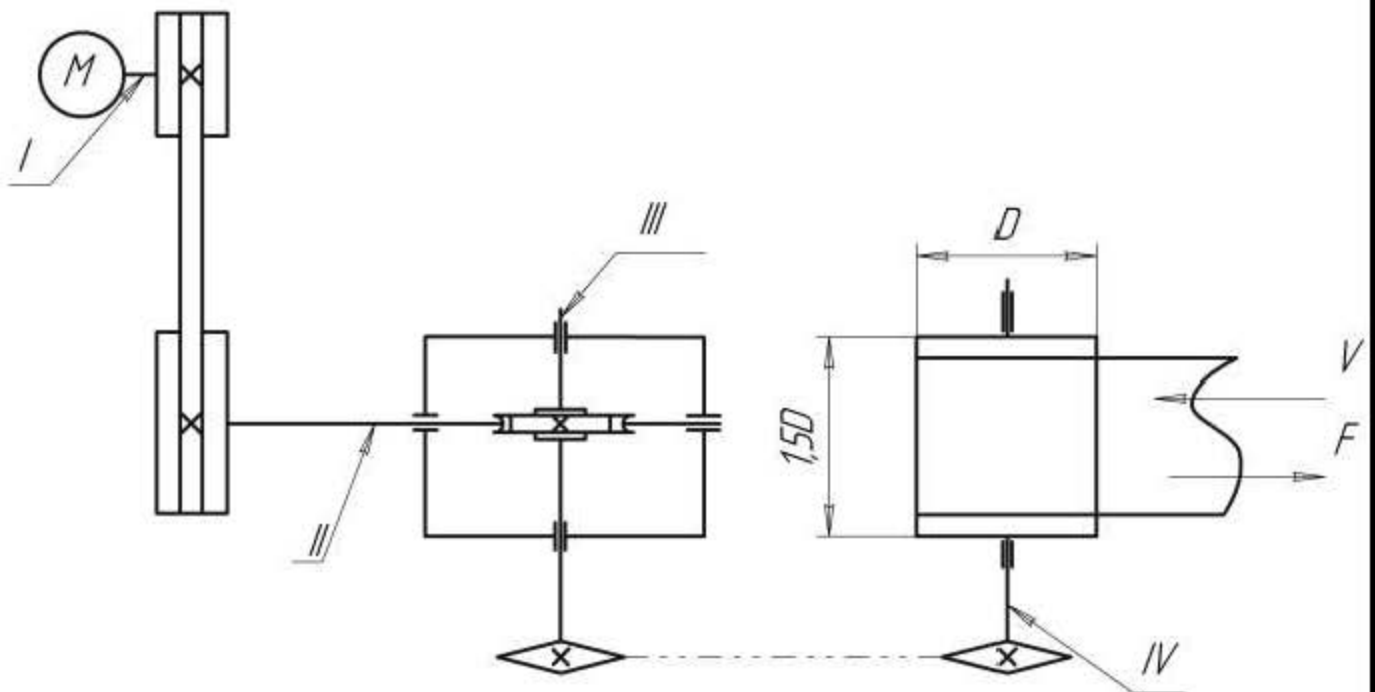


Рис. 3.3. Схема привода

Визначаємо необхідну потужність електродвигуна:

$$P_{елев.}^n = \frac{P_{вих.}}{\eta_{заг.}}$$

$$P_{вих.} = \frac{F_t \times v}{1000} = \frac{4,5 \times 10^3 \times 0,5}{1000} = 2,25 \text{ кВт};$$

$$n_{вих.} = \frac{60 \times 1000 \times v}{\pi \times D} = \frac{60 \times 1000 \times 0,5}{\pi \times 350} = 27,29 \frac{\text{об.}}{\text{хв.}}$$

$$\eta_{заг.} = \eta_{пт} \times \eta_{сн} \times \eta_{ш} \times \eta_{п.підш.}^3;$$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

ДСА 00.000 ПЗ

Арк.

32

$$P_{\text{ел.дв.}}^n = \frac{2,25}{0.636} = 3,537 \text{ кВт.};$$

$$\eta_{\text{заг.}} = 0.95 \times 0.75 \times 0.93 \times 0.99^3 = 0.636;$$

Визначаємо загальне число привода:

$$n_{\text{мін.}} = n_{\text{вих.}} \cdot U_{\text{нас}}^{\text{мін.}} \cdot U_{\text{чп}}^{\text{мін.}} \cdot U_{\text{лп}}^{\text{мін.}}$$

$$n_{\text{мін.}} = 27.29 \cdot 1.8 \cdot 14 \cdot 1.8 = 1237.8 \frac{\text{об.}}{\text{хв.}};$$

$$n_{\text{макс.}} = n_{\text{вих.}} \times U_{\text{макс.}};$$

$$n_{\text{макс.}} = 27.3 \cdot 6.3 \cdot 80 \cdot 6.3 = 86651.2 \frac{\text{об.}}{\text{хв.}};$$

Приймаємо електродвигун серії 4А по ГОСТ 19523-81 4А 200М2І3 потужністю $P_{\text{ел.дв.}} = 4$ кВт. з частотою обертання $n_{\text{ел.дв.}} = 2945$ об./хв.

Визначаємо загальне число привода:

$$U_{\text{заг.}} = \frac{n_{\text{ел.дв.}}}{n_{\text{вих.}}};$$

$$U_{\text{заг.}} = \frac{2800}{27.3} = 105.5;$$

Приймаємо такі передаточні числа:

$$U_{\text{лп}} = 2; \quad U_{\text{чп}} = 25; \quad U_{\text{зн}} = \frac{105.5}{2 \cdot 25} = 2.1;$$

Розраховуємо частоту обертання, кутову швидкість, потужність та обертальний момент на валах привода.

Розраховуємо частоту обертання:

$$n_I = n_{\text{дв.}} = 2880 \text{ об./хв.};$$

$$n_{II} = \frac{n_I}{U_{\text{зн}}} = \frac{2880}{2.1} = 1371.42 \text{ об./хв.};$$

$$n_{III} = \frac{n_{II}}{U_{\text{чп}}} = \frac{1371.42}{25} = 54.85 \text{ об./хв.};$$

$$n_{IV} = \frac{n_{III}}{U_{\text{лп}}} = \frac{54.85}{2} = 27.42 \text{ об./хв.};$$

Розраховуємо кутову швидкість:

$$\omega_I = \frac{\pi \cdot n_I}{30} = \frac{3.14 \cdot 2880}{30} = 301.44 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{II} = \frac{\pi \cdot n_{II}}{30} = \frac{3.14 \cdot 1371.4}{30} = 143.53 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{III} = \frac{\pi \cdot n_{III}}{30} = \frac{3.14 \cdot 54.85}{30} = 5.74 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{IV} = \frac{\pi \cdot n_{IV}}{30} = \frac{3.14 \cdot 27.42}{30} = 2.86 \text{ рад/с};$$

Розраховуємо потужність:

$$P_I = P_{ел.дв.}^n = 3.537 \text{ кВт};$$

$$P_{II} = P_I \cdot \eta_{мн} \cdot \eta_{н.мідю.} = 3.537 \cdot 0.95 \cdot 0.99 = 3.326 \text{ кВт};$$

$$P_{III} = P_{II} \cdot \eta_{чп} \cdot \eta_{н.мідю.} = 3.326 \cdot 0.75 \cdot 0.99 = 2.469 \text{ кВт};$$

$$P_{IV} = P_{III} \cdot \eta_{уп} \cdot \eta_{н.мідю.} = 2.469 \cdot 0.92 \cdot 0.99 = 2.248 \text{ кВт};$$

Знаходимо обертальний момент на валах:

$$T_I = \frac{P_I \cdot 10^3}{\omega_I} = \frac{3.537 \cdot 10^3}{301.44} = 11.733 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$T_{II} = \frac{P_{II} \cdot 10^3}{\omega_{II}} = \frac{3.326 \cdot 10^3}{143.53} = 23.172 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$T_{III} = \frac{P_{III} \cdot 10^3}{\omega_{III}} = \frac{2.469 \cdot 10^3}{5.74} = 430.139 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$T_{IV} = \frac{P_{IV} \cdot 10^3}{\omega_{IV}} = \frac{2.248 \cdot 10^3}{2.86} = 786.013 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

ДСА 00.000 ПЗ

Арк.

34

відвантажувальним матеріалом, з транспортними засобами та у зовнішнє середовище огорожами сушарки.

Розрахунок витрат тепла з калорифера.

Кількість тепла, отримана повітрям у калорифері можна визначити з рівняння балансу тепла:

$$LI_0 + Q_k = LI_1$$

Питомі витрати тепла на 1 кг. випаруваної вологи:

$$q_k = l(I_1 - I_0), \text{кДж/кг.в. в.}$$

де l - питома кількість повітря, кг. с.пов./ кг. вип. вол.;

I_0, I_1 - ентальпія зовнішнього та підігрітого повітря, кДж/кг.с.п

$$q_k = 140(97,08 - 25,33) = 10045 \text{ кДж/кг.в. в.}$$

$$I_1 = 1t_1 + 0.001d_1(2500 + 1.97t_1) \quad I_0 = 1t_0 + 0.001d_0(2500 + 1.97t_0)$$

$$I_1 = 1 \cdot 80 + 0.001 \cdot 6.43(2500 + 1.97 \cdot 80) = 97.08 \text{ кДж/кг.с.п}$$

$$I_0 = 1 \cdot 20 + 0.001 \cdot 2.1(2500 + 1.97 \cdot 20) = 25.33 \text{ кДж/кг.с.п}$$

Розрахунок витрат тепла на випаровування вологи.

Витрати тепла на випаровування 1 кг. вологи, або ж питома витрата тепла, кДж/кг.в.в.:

$$q_1 = \frac{Q_1}{W} = i_n'' - 4.19 \cdot \vartheta_1$$

де i_n'' - тепловміст пари у відпрацьованому повітрі, кДж/кг;

4, 19- теплоємність води, кДж/(кг°С);

ϑ - температура матеріалу на вході у сушарку (дорівнює температурі цеху 18-20°С),°С.

					ДСА 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		39

$$q_1 = 2598.5 - 4.19 \cdot 19 = 2518.89 \text{ кДж/кг.в.в.}$$

$$i_n'' = 2500 + 1.97t_2$$

де 2500 - тепловміст насиченої пари, кДж/кг;

1,97 - вагова теплоємність водяної пари, кДж/(кгград).

$$i_n'' = 2500 + 1.97 \cdot 50 = 2598.5 \text{ кДж/кг}$$

Розрахунок витрат тепла з видаленням відпрацьованого повітря.

Питома витрата тепла на 1 кг. випаруваної вологи, кДж/кг.в.в.:

$$q_2 = lC_{np}(t_2 - t_0)$$

де C_{np} , - приведена теплоємність зовнішнього повітря

= (1,0+0,00197d₀), кДж/(кг*град) d₀ за I-d діаграмою по t₀, φ₀

$$q_2 = 140 \cdot 1.004137(50 - 20) = 4217.375 \text{ кДж/кг.в.в.}$$

Розрахунок витрат тепла з відвантаженням матеріалом.

Витрати тепла з відвантаженням матеріалом визначають у залежності від температури зовнішнього повітря:

$$q_3 = \frac{Q_3}{W} = \frac{G_2 C_2 (\vartheta_2 - \vartheta_1)}{W}$$

де G_2 - кількість висушеного матеріалу, кг/год;

C_2 - теплоємність висушеного матеріалу при вологості ω_2
кДж/(кг·град);

W- кількість випаруваної вологи, кг/год;

ϑ_1, ϑ_2 - відповідно температура матеріалу на вході і на виході з сушарки, °С.

$$q_3 = \frac{13.89 \cdot 1.514(70 - 15)}{400} = 2.89$$

Температура матеріалу на виході з сушарки залежить від параметрів повітря у сушарці та від кінцевої вологості матеріалу. $\vartheta_2 = t_1 - (5 \dots 15^\circ \text{C})$.

$$C_2 = \frac{100C_c + 4.19\omega_2}{100 + \omega_1}$$

де C_c - теплоємність абсолютно сухого матеріалу (для льону $C_c = 1,34$ кДж/(кг·град)).

$$C_2 = \frac{100 \cdot 1.34 + 4.19 \cdot 6.5}{100 + 6.5} = 1.514$$

$$G_2 = G_1 \frac{100 + \omega_2}{100 + \omega_1},$$

де C_1 - кількість завантаженого матеріалу, кг/год.

$$G_2 = 15 \frac{100 + 6.5}{100 + 15} = 13.89$$

Витрати тепла у зовнішнє середовище огорожами сушарки.

Питома витрата тепла огорожами сушарки, кДж/кг.в.в.:

$$q_5 = \frac{Q_5}{W} = \frac{3.6A \{ \Sigma [KF(t_{\text{вн}} - t_{\text{зов}})] + Q_{\text{від}} \}}{W}$$

де A - коефіцієнт, який враховує підвищену теплопровідність матеріалу огорож; для зовнішніх бетонних, цегельних та деревинних огорож $A = 1,5$;

K - коефіцієнт теплопередачі огорожі, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$;

F - поверхня огорожі, м^2 ;

$t_{\text{вн}}, t_{\text{зов}}$ - відповідно температура сушильного агенту усереднені та зовні сушарки, $^\circ\text{C}$;

$Q_{\text{під}}$ - витрати тепла підлогою сушарки, Вт .

$$q_s = \frac{3.6 \cdot 1.5 \{ \Sigma [4.132 \cdot 46(65 - 18) + 2126310.4] \}}{400} = 28825.79 \text{ кДж/кг.в.в.}$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{вн}}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{\text{зов}}}},$$

де $\alpha_{\text{вн}}, \alpha_{\text{зов}}$ - коефіцієнт тепловіддачі на внутрішній та зовнішній поверхні огорож, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$,

δ - товщина шару, м $\delta = 0,05 \text{ м}$;

λ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу шару огорожі, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$ $\lambda = 62,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$,

$$K = \frac{1}{\frac{1}{7.42} + \frac{0.05}{62.8} + \frac{1}{9.31}} = 4.132 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$$

Коефіцієнт тепловіддачі визначається за формулою;

$$\alpha_{\text{вн}} = 6,16 + 4,2\omega,$$

де ω - швидкість агента сушки біля внутрішньої поверхні огорожі, $\text{м}/\text{с}$.

						ДСА 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата			42

$$\alpha_{\text{вн}} = 6,16 + 4,2 \cdot 0,3 = 7,42$$

$$\alpha_{\text{зов}} = 9,8 + 0,07(t_{\text{з.п.}} - t_{\text{зов}})$$

де $t_{\text{з.п.}}$ - температура зовнішньої поверхні огорожі, °С; не повинна перевищувати температуру повітря у цеху більш як на 10 - 15 °С.

$$\alpha_{\text{зов}} = 9,8 + 0,07(13 - 20) = 9,31$$

$$F_n = 2lh + 2hm + lm, \text{ м}^2$$

де l - довжина, сушарки, м;

h - висота сушарки, м;

t - ширина сушарки, м.

$$F_n = 2 \cdot 4 \cdot 19 + 2 \cdot 19 \cdot 4 + 4 \cdot 4 = 320 \text{ м}^2$$

$$t_{\text{вн}} = \frac{t_1 + t_2}{2}, \text{ } ^\circ\text{C}, t_{\text{зов}} = t_{\text{ц}}$$

$$t_{\text{вн}} = \frac{80 + 50}{2} = 65 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{зов}} = t_{\text{ц}} = 18 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{від}} = \Sigma q F_n, \text{ Вт}$$

де q - витрати тепла 1 м смуги підлоги, Вт/м, (з табл.);

$F_{\text{п}}$ - площа смуги, м².

						ДСА 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата			43

$$Q_{\text{ндо}} = 6644,72 \cdot 320 = 2126310,4 \text{ Вт}$$

Загальні витрати тепла у сушарці складуть суму усіх витрат тепла. Ці витрати повинні бути відшкодовані приходом тепла від калориферу та додаткової поверхні підігріву. Таким чином, рівняння балансу тепла у сушарці буде мати наступний вигляд:

$$Q_k + Q_o = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5$$

Або ж на 1 кг випаруваної вологи, кДж/кг.в.в.:

$$q_k + q_o = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 = q$$

До загальних витрат тепла робиться додаток на невраховані витрати тепла у розмірі 10-15 %, кДж/кг.в.в.:

$$q = \frac{q}{0.9}$$

$$q = \frac{5980.25}{0.9} 6644.72 \text{ кДж/кг.в.в}$$

Рівняння балансу тепла у сушарці зв'язує теплоприхід у камері та витрати тепла, тому кожен з сторін цього рівняння позначають як Δ - величина, яка характеризує процес сушіння з точки зору теплообмінних процесів.

$$\Delta = (q_o + q_1) - (q_3 + q_4 + q_5), \text{ кДж/кг}$$

										ДСА 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата							44

Відношення кількості тепла, яке йде на випаровування вологи до усього витраченого тепла називається коефіцієнтом корисної дії сушарки:

$$\eta_{\text{суш}} = \frac{q_1}{q} \cdot 100, \%$$

$$\eta_{\text{суш}} = \frac{2518,89}{6644,72} \cdot 100\% = 38$$

Визначимо необхідну кількість повітря і тепла для проведення процесу сушіння.

Знаходимо питому витрату сухого повітря в сушарці:

$$l = 1000 / (d_2 - d_1), \text{кг сух. пов./кг в.в.},$$

Годинна витрата сухого повітря складе:

$$L = l \cdot W; \text{ кг сух. пов./год},$$

$$L = 140 \cdot 400 = 56000 \text{ кг сух. пов./год}$$

Оскільки сушарка камерного типу, $L=L_1=L_0=L_2$.

Загальний обсяг повітря в будь-якому місці сушарки:

$$V = L \cdot v_{\text{пр}}; \text{м}^3/\text{ГОД},$$

Для зовнішнього повітря:

$$V_0 = L \cdot v_{\text{пр}0}$$

де $v_{пр}$ визначаємо по таблиці вологого повітря при t_1 , °C, ϕ_1 , %.

$$V_0 = 56000 \cdot 0.8633 = 48344.8 \text{ м}^3/\text{ГОД}$$

Для повітря, що надходить у сушарку після підігріву:

$$V_1 = L \cdot v_{пр},$$

де $v_{пр}$ визначаємо по таблиці вологого повітря при t_1 °C, ϕ_1 , %

$$V_1 = 56000 \cdot 1.7885 = 100156 \text{ м}^3/\text{ГОД}$$

Для повітря, що виходе з сушарки:

$$V_2 = L \cdot v_{пр}$$

$v_{пр}$ визначаємо по таблиці вологого повітря при t_1 °C, ϕ_1 , %.

$$V_2 = 56000 \cdot 0.97 = 54320 \text{ м}^3/\text{ГОД}$$

Визначаємо питому витрату тепла:

$$q_k = l(I_1 - I_0); \text{кДж/кг в.в.},$$

$$q_k = 140(97,08 - 25,33) = 10045 \text{ кДж/кг в.в}$$

Годинна витрата тепла в сушарці:

$$Q_k = q_k \cdot W \text{ (32)кДж/ГОД}$$

						ДСА 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата			46

$$Q_k = 10045 \cdot 400 = 4018000 \text{ кДж/год}$$

3.4.4. Заходи щодо економії палива

Вищеназвані заходи зводяться до наступного:

Використати агент, що відробив, сушіння, що має високу температуру й порівняно низьку відносну вологість для попереднього підігріву зерна. Застосовувати 30...40 % агента, що відробив, сушіння, відбираючи його з високою температурою й низькою відотною вологістю з останніх зон сушарок, при цьому знижується питома витрата палива на 8...12%.

Використати повітря, що відробило, після охолоджувальної шахти (це фактично теплота нагрітого зерна), тому що він має низьку відносну вологість і порівняно високу температуру. При цьому знижується питома витрата палива на 5...7%.

Двічі пропускати агент сушіння через два потоки рухомого зерна як у падаючому (киплячому, зваженому), так й у щільному шарі.

Створювати конструкції нових сушарок у такому виконанні, щоб втрати від агента сушіння в навколишнє середовище були мінімальними, забезпечуючи компактність сушарки й топлення з мінімальними поверхнями, омиваними зовнішнім повітрям. Необхідно знижувати поверхню повітрепроводів агента сушіння при обов'язковій їхній теплоізоляції.

Використати просушене зерно для нагрівання вступник холодного зерна на сушіння.

Використовуючи ці заходи, можна домогтися зниження питомих витрат теплоти з 6000...8000 кДж/кг вип. вологи до 4000...4800 кДж/кг вип. вологи.

						ДСА 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата			47

3.5. Розрахунок деталей та вузлів на міцність

3.5.1. Розрахунок на міцність шпонкового з'єднання.

Для з'єднання шківу завантажувального транспортеру і валу приймаємо призматичну шпонку (рис. 3.5) з розмірами [8]:

ширина $b = 6$ мм;

висота $h = 6$ мм;

довжина $l = 18$ мм ;

глибина шпоночного пазу у валу $t1 = 3,5$ мм;

глибина шпоночного пазу у маточині $t2 = 2,8$ мм.

Найбільш небезпечною деформацією для шпонок є зминання від крутного моменту:

$$\sigma_{см} = \frac{4 \cdot T}{d_v \cdot l_p \cdot h} \leq [\sigma_{см}],$$

звідки
$$l_p \geq \frac{4 \cdot T}{d_v \cdot [\sigma_{см}] \cdot h},$$

де l_p – робоча довжина шпонки, мм; d_v – діаметр валу, мм;

T – крутний момент, Н·мм;

$[\sigma_{см}]$ – допустима напруга на зминання, для сталі 45, $[\sigma_{см}] = 50$ МПа;

$$l_p = \frac{4 \cdot 9,7 \cdot 10^3}{20 \cdot 50 \cdot 6} = 6,5 \text{ мм},$$

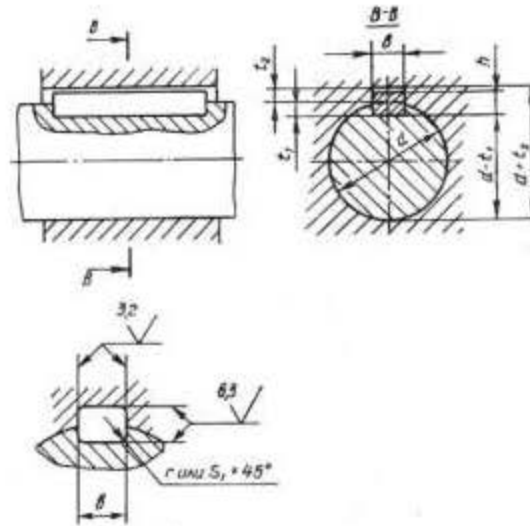


Рис. 3.5 Схема до визначення параметрів шпонкового з'єднання.

Визначаємо довжину шпонки:

$$l_p = l - b;$$

звідки

$$l = l_p + b,$$

$$l = 6,5 + 6 = 12,5 \text{ мм.}$$

Приймаємо довжину шпонки $l = 18 \text{ мм.}$

3.5.2. Розрахунок осі підшипник.

Розглядаємо зусилля в горизонтальній площині.

Значення реакцій

$$Y_A = Y_C = \frac{1}{2} \cdot F = \frac{1}{2} \cdot 2,06 = 1,03 \text{ кН}$$

Ділянка $0 \leq x \leq \frac{L}{2}$ ($L=1,16 \text{ м}$)

зусилля

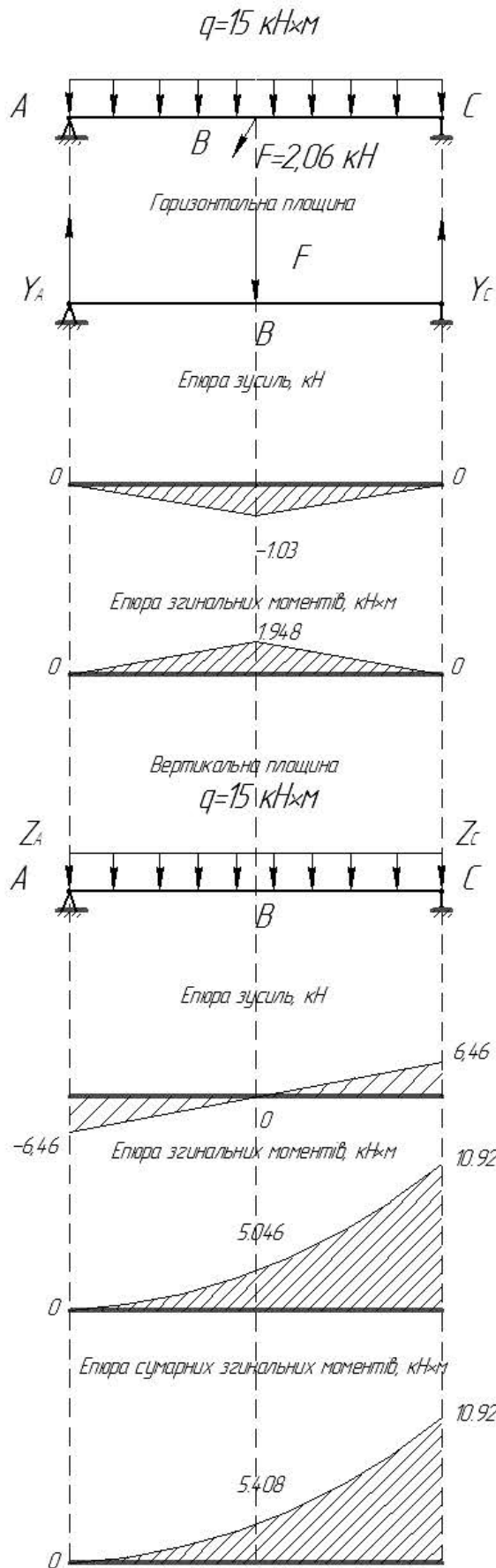
$$Q_A = Y_A;$$

Зм	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

ДСА 00.000 ПЗ

Арк.

49



$$Q_B = Y_A - F = 1,03 - 2,06 = -1,03 \text{ кН}$$

згинаючі моменти

$$M_y = Q_y \cdot x$$

$$M_A = 0;$$

$$M_B = Y_A \cdot \frac{L}{2} = 1,03 \cdot \frac{1,16}{2} = 1,948 \text{ кНм}$$

Ділянка $\frac{L}{2} \leq x \leq L$ ($L=1,16 \text{ м}$)

зусилля

$$Q_B = Y_A - F;$$

$$Q_C = Y_A - F + Y_C = 1,03 - 2,06 + 1,03 = 0 \text{ кН}$$

згинаючі моменти

$$M_y = Q_y \cdot x$$

$$M_c = 0;$$

Розглядаємо зусилля в вертикальній площині.

Значення реакцій

$$Z_A = Z_C = q \cdot \frac{L}{2} = 15 \cdot \frac{1,16}{2} = 6,46 \text{ кН}$$

Ділянка $0 \leq x \leq \frac{L}{2}$ ($L=1,16 \text{ м}$)

зусилля

$$Q_A = Z_A;$$

$$Q_B = Z_A - \frac{L}{2} \cdot q = 6,46 - 6,46 = 0 \text{ кН}$$

Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

ДСА 00.000 ПЗ

Арк.

50

згинаючі моменти

$$M_z = Q_z \cdot x$$

$$M_A = 0; M_B = Z_A \cdot L \cdot \frac{L}{2} = 1,03 \cdot 1,16 \cdot \frac{1,16}{2} = 5,046 \text{ кНм}$$

Ділянка $\frac{L}{2} \leq x \leq L$ ($L=1,16$ м)

зусилля

$$Q_B = Z_A - q \cdot \frac{L}{2};$$

$$Q_C = Z_A - q \cdot \frac{L}{2} + Z_C = 6,46 - 6,46 + 6,46 = 6,46 \text{ кН}$$

згинаючі моменти

$$M_z = Q_z \cdot x$$

$$M_C = 10,92 \text{ кН.м};$$

Сумарні згинальні моменти

$$M_\Sigma = \sqrt{M_y^2 + M_z^2}$$

$$M_{\Sigma AB} = 5,408 \text{ кН.м}; M_{\Sigma CB} = 10,92 \text{ кН.м}$$

					ДСА 00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		51

Визначаємо розрахункові діаметри в характерних точках

$$d_c = \sqrt[3]{\frac{M_\Sigma}{0,1 \cdot [\sigma_{-1}]}} = \sqrt[3]{\frac{10,92}{0,1 \cdot 40}} = 39 \text{ мм}$$

Приймаємо діаметр підшипник 40 мм

3.5.3. Вибір підшипників

Для безперебійної роботи випускного механізму встановимо шарикопідшипники закритого типу 8108 ГОСТ 7242-81

Визначаємо номінальну динамічну вантажопід'ємність 8108 підшипника з каталожною вантажопід'ємністю $C=16,8$ кН, статичною вантажопід'ємністю – $C_0=9,3$ кН. На підшипник діє радіальне навантаження $F_r=17,4$ кН, осьове $F_0=2,06$ кН, частота обертання $n=900$ об/хв., необхідна довговічність $L_h=10000$ при умові, що $V=K_\delta=K_f=1,0$.

Вибираємо коефіцієнти X та Y . Відношення $\frac{F_0}{C_0} = \frac{2,06}{9,3} = 0,221$, з табл. 6.1

[12], $e=0,221$, $X=0,56$ та $Y=1,15$.

Знаходимо еквівалентне навантаження

$$P = (X \cdot V \cdot F_r + Y \cdot F_0) \cdot K_\delta \cdot K_f = (0,56 \cdot 1 \cdot 17,4 + 1,15 \cdot 2,06) \cdot 1 \cdot 1 = 12,13 \text{ кН}$$

За табл. 21 [12], $\frac{C}{P} = 8,43$, відповідно потрібна динамічна вантажопід'ємність $C = P \cdot 8,43 = 12,13 \cdot 8,43 = 10,225$ кН. Так як найближчий підшипник 8107 має $C=10,1$ кН, то залишаємо 8108, який нас повністю задовольняє.

Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата

ДСА 00.000 ПЗ

Арк.

52

3.6. Висновки по розділу

Для економії енергоресурсів запропоновано встановити зернообмінник з сторони виходу відпрацьованого агента сушіння з сушильної камери у навколишнє середовище. Зернообмінник виконує функцію прогріву зернового матеріалу з подальшою подачею його у надушильний бункер сушарки. Завдяки тому, що зерно у ньому прогрівається до температури 40-46°C, можна зменшити час знаходження зерна у сушильній камері і підвищити продуктивність 60 до 75 т/год при однакових витратах палива. Збільшується маса на 327 кг.

Внаслідок встановлення зернообмінника потребують зміни форма, розміри та тип повітророзподільних коробів для виведення відпрацьованого агента сушіння з камери сушіння у сам зернообмінник. Базові повітророзподільні коробки (масою 14 кг) замінено на перфоровані трикутні коробки (970 шт.) масою (12.5 кг). Зменшується маса сушарки на 1455 кг.

Випускний механізм періодичної дії переобладнано на выпускний механізм безперервної дії, що обумовлено новим режимом роботи сушарки. Привід механізму має вертикальну тягу 8 довжиною 2,65 м, що пов'язано з конструктивним виконанням. Пропонується зменшити тягу до 0,32 м шляхом встановлення механізму приводу вище ексцентрика. Рухлива рама встановлена на ролики 2, які рухаються по напрямним нерухомої рами. Ролики не мають підшипників і являють собою сталеві диски, що посаджені вільною посадкою на сталеві вісі. Під час експлуатації виявлено, що дані ролики потребують змащення через кожні 2400 годин при паспортному навантаженні зерносушильного агрегату. Для усунення даного недоліку пропонується встановити закриті шарикові підшипники (16 шт. на 2 рами) типу 60000 ГОСТ 8338-75, що мають строк служби 480 000 годин. Зробити заміну чотирьох пружин на дві пружини із-за зміни конструкції механізму та осьових навантажень. Збільшення маси на 61 кг.

					ДСА 00.000 ПЗ		Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата			53

ВИСНОВКИ

У результаті проведеного техніко-технологічного удосконалення шахтної зерносушарки встановлено доцільність інтеграції теплоутилізаційного вузла – зернообмінника, розміщеного в зоні виходу відпрацьованого агента сушіння з сушильної камери. Його впровадження забезпечує попередній термоконттактний прогрів зернового матеріалу до температури 40–46 °С перед подачею у надсушильну частину сушарки, що дає змогу істотно знизити тривалість тепломасообмінного процесу в активній сушильній зоні. За рахунок цього досягнуто збільшення експлуатаційної продуктивності агрегату з 60 до 75 т/год без підвищення питомих витрат палива, а також зросла корисна маса оброблюваного матеріалу на 327 кг.

Інтеграція зернообмінника спричинила необхідність реконструкції системи повітророзподілу. Замість стандартних базових коробів (14 кг кожен) застосовано перфоровані трикутні повітророзподільні елементи (970 шт., маса одного – 12,5 кг), що забезпечило зниження загальної маси конструкції сушарки на 1455 кг, одночасно покращивши умови відведення відпрацьованого теплоносія.

Механізм періодичної видачі зерна модифіковано в напрямі безперервної дії, що відповідає новому технологічному режиму роботи сушарки. Конструктивна реорганізація приводу, зокрема зміщення його точки дії вище ексцентрика, дала змогу зменшити довжину вертикальної тяги з 2,65 м до 0,32 м, що суттєво покращує ергономіку та ремонтпридатність механізму.

Таким чином, розроблені інженерні рішення забезпечують комплексне підвищення енергоефективності, технологічної надійності та ремонтпридатності зерносушильного обладнання без збільшення експлуатаційних витрат.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Короб повітророзподільчий, патент №34225 А, бюл. № 6, 1998.
2. Лесенко Г.В. Техніка безпеки на механізованих роботах: Вид. 2-е, допов. перероб. – К.: Урожай, 1978.
3. Миценко І.М., Мезенцева О.М. Цивільна оборона: навчальний посібник. – Кіровоград: Кіровоградська районна друкарня, 2003. – 404 с.
4. Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунку деталей машин: Підручник. – К.: Вища школа, 1993. – 450 с.
5. Положення про організацію оповіщення і зв'язку у надзвичайних ситуаціях: Постанова КМУ від 15.02.1999, №192.
6. Шмат К.І., Диневич Г.Ю., Карманов В.В. Технологія і обладнання для зберігання і переробки сільськогосподарської продукції. Навчальний посібник. – Херсон: ХНТУ, 2004. – 400 с.
7. Gholami M., Mohtasebi S. S., Moghimi M. Development of an energy-efficient drying method for paddy rice using heat recovery system // Renewable Energy. – 2018. – Vol. 127. – P. 1011–1020.
8. Martins M. A., Oliveira G. H. H., Resende O. The effect of drying air temperature and relative humidity on maize grain drying kinetics and energy consumption // Journal of Stored Products Research. – 2022. – Vol. 99. – Art. 101822.
9. Kocabiyik H., Turgut T. Pneumatic conveying characteristics of agricultural grains in horizontal and vertical ducts // Powder Technology. – 2021. – Vol. 386. – P. 267–278.
10. Dursun E., Dursun I. Drying behavior of wheat grains using a solar tunnel dryer // Journal of Food Engineering. – 2020. – Vol. 271. – Art. 109769.
11. Djenane D., Aissani D., Salhi H. Modeling and simulation of thin-layer grain drying using COMSOL Multiphysics: Moisture and temperature distribution // Heat and Mass Transfer. – 2023. – Vol. 59. – P. 535–547.

Зміст

	стор.
Вступ.....	5
2. Стан питання про сушарку, яка підлягає модернізації	6
3. Конструкторська частина	31
Висновки.....	53
Список використаних джерел.....	54
Додатки	

					<i>ДСА 00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		56