

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**Інститут (факультет) Навчально-науковий інженерно-технічний
інститут ім.акад.І.С.Гулого**

Кафедра теплоенергетики та холодильної техніки

«До захисту в ЕК»

Директор інституту(декан факультету)

_____ Сергій БЛАЖЕНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

«___» _____ 2022 р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Валентин ПЕТРЕНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

«___» _____ 2022р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА**

зі спеціальності Енергетичне машинобудування (142)

(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми Холодильна техніка та технології

на тему: Проект холодильної установки з обробки зернових культур холодом продуктивністю 600 т. на добу на базі Кононівського елеватор

Виконав: здобувач 4 курсу, групи 4

Степаніщев Данііл Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)



(підпис)

Керівник _____

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

(підпис)

Консультанти _____

(ім'я та прізвище)

(підпис)

_____ (ім'я та прізвище)

(підпис)

_____ (ім'я та прізвище)

(підпис)

Рецензент _____

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Я як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач _____

(підпис)

Київ – 2022 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) ННІТІ ім. акад. І.С. Гулого

Кафедра теплоенергетики та холодильної техніки

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 142 Енергетичне машинобудування
(код і назва)

Освітньо-професійна програма Холодильні техніка та технології

(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач

кафедри ТЕХТ

“31” березня 2022 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Степаніщев Данііл Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проект холодильної установки з обробки зернових культур холодом продуктивністю 600 т. на добу на базі Кононівського елеватору

керівник роботи доцент Прядко Микола Олексійович,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “31” 03 2022 року №167-к

2. Строк подання здобувачем роботи 03.06.2022р.

3. Вихідні дані до роботи _____

Холодоагент R507

Тип продукту Пшениця

Ізоляційний матеріал ППУ

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____

1). Огляд проблематику питання розробки установки. _____

2). Техніко економічні показники _____

3). Розрахунок холодильної частини _____

4). Підбір компонентів _____

5. Перелік графічного матеріалу

1. План розміщення МХУОЗ _____

2. Схема холодильної установки _____

Анотація

Темою даного дипломного проєкту є розробка холодильної установки номінальною продуктивністю $\frac{600 \text{ т}}{24 \text{ год}}$ для обробки зернових культур. На базі даних Кононівського елеватору

Мета цього проєкту зменшення економічних, матеріальних витрат та підвищення якості продукції

В пояснювальній записці наведено: технічне завдання на дипломний проєкт, схема конструкції, логіка автоматизації, правила експлуатації, розрахункова частина, параметри продукції, економічне обґрунтування

Графічна частина включає в себе: план-розміщення установки, принципова та гідравлічна схема.

					<i>КР 000.142.008.002.2022.РПЗ</i>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		<i>Д.М. Степаніцев</i>			<i>Проект холодильної установки з обробки зернових культур холодом продуктивністю 600 т. на добу на базі Кононівського елеватору</i>	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.							4	62
Реценз.						<i>ТЕХТ ННІТІ НУХТ</i>		
Н. контр.								
Затверд.		<i>М.О. Прядко</i>						

Annotation

The topic of this diploma project is the development of a refrigeration unit with a nominal capacity 600 tons / 24 hours for grain cooling. Based on the Kononov Elevator.

The aim of this project is to reduce economic and material costs and improve product quality

The explanatory note contains: terms of reference for the diploma project, design scheme, automation logic, operating rules, calculation part, product parameters, economic justification.

The graphic part includes: hydraulic diagram, accommodation plan

					<i>КР 000.142.008.002.2022.РІІЗ</i>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		<i>Д.М. Степанищев</i>			<i>Проект холодильної установки з обробки зернових культур холодом продуктивністю 600 т. на добу на базі Кононівського елеватору</i>	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.							5	62
Реценз.						<i>ТЕХТ ННІТІ НУХТ</i>		
Н. контр.								
Затверд.		<i>М.О. Прядко</i>						

Зміст

Вступ.....	8
Технічне обґрунтування.....	14
Опис запропонованого технічного рішення. Принцип роботи обладнання....	17
Розрахунок теплонадходжень до силосу.....	21
Розрахунок потужність для охолодження зерна.....	31
Розрахунок параметрів компонентів установки.....	39
Вибір компонентів установки.....	59
Економічний розрахунок.....	60
Використані джерела.....	62

					<i>КР 000.142.008.002.2022.РПЗ</i>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		<i>Д.М. Степаніцев</i>			<i>Проект холодильної установки з обробки зернових культур холодом продуктивністю 600 т. на добу на базі Кононівського елеватору</i>	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.							6	62
Реценз.						<i>ТЕХТ ННІТІ НУХТ</i>		
Н. контр.								
Затверд.		<i>М.О. Прядко</i>						

2. Вступ

Зерно – це один із найважливіших продуктів харчування. Для виробництва якого залучається велика кількість технологічних ресурсів. Валовий збір зернових і зернобобових культур в Україні в 2021 році становив 65,4 млн тон (рис 2.1)

Урожайність зернових і зернобобових культур в Україні
Станом на 28 жовтня 2021 р. за даними інтерактивної карти «Урожай Онлайн 2021»

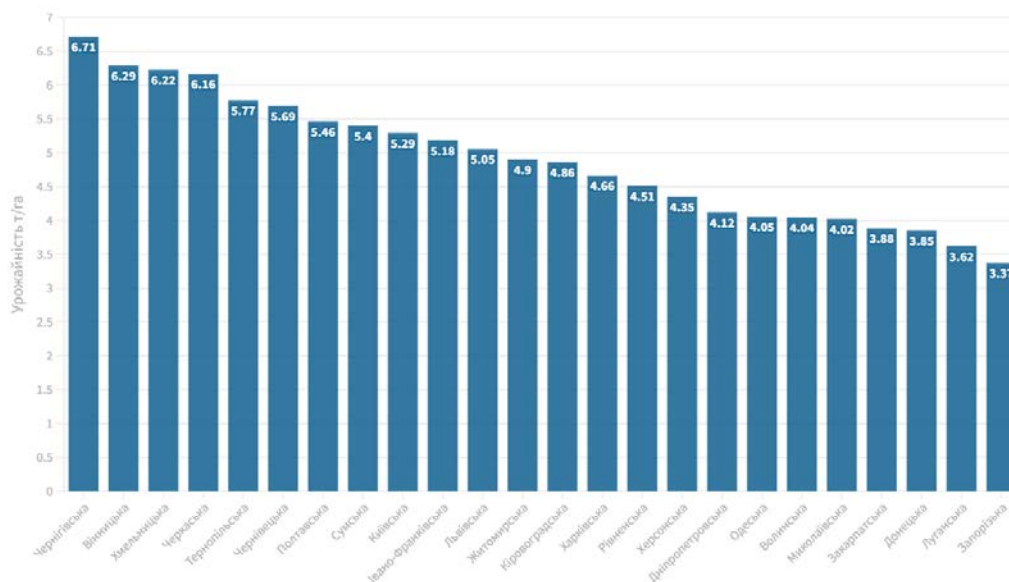


Рис. 2.1 Урожайність зернових і зернобобових культур в Україні

Продовольча та сільськогосподарська організація ООН звітує про те, що щорічно псується близько 20 % зібраних зернових культур [1,]. Тому, вкрай важливо вдосконалювати методи зберігання зерна

Зерно – є живим організмом, в якому проходять біологічні процеси ("дихання" та росту). У середині нього відбувається постійний біологічний обмін речовинами (метаболізм). Інтенсивність цих процесів залежить насамперед від параметрів його зберігання. Через підвищення температури внаслідок біологічних процесів, підвищується ризик утворення плісняви, сприятливої мікрофлори для шкідників, втрати сухої маси зерна та підвищення вологості.

Головні задачі перед холодильною установкою це - збереження зерна без втрат у масі, скорочення економічних витрат (при технологічних процесах обробки) та підвищення якості вихідної продукції.

					<i>КР 000.142.008.002.2022.РПЗ</i>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		<i>Д.М. Степаніцев</i>			Проект холодильної установки з обробки зернових культур холодом продуктивністю 600 т. на добу на базі Кононівського елеватору	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.							7	62
Реценз.						<i>ТЕХТ ННІТІ НУХТ</i>		
Н. контр.								
Затверд.		<i>М.О. Прядко</i>						

Втрати у результаті погіршення якості зерна, призводять у до кількісних втрати в результаті його переміщення. Приблизно = 0,03% від загальної маси.

Пліснява є одним із найнебезпечнішим фактором при зберіганні зернових культур (рис 2.2). Мікотоксини – це отруйні сполуки, які утворюють деякими видами грибів. Вони можуть спричинити серйозні наслідки для здоров'я людей і тварин. Це серйозна економічна та соціальна проблема для країн ЄС. [8]



Рис. 2.2 Результат розвитку мікотоксин у середині зернової культури (у т.ч. внаслідок високих температур зберігання)

Дрібнонасіневі культури мають доволі високу гігроскопічність. Це важливий практичний фактор для вибору раціональних режимів вентилявання, сушіння та визначає необхідні умови для зберігання продукції. [9]

Розробка модульного охолоджуючого комплексу дозволить максимально ефективно охолоджувати продукцію та консервувати сільськогосподарську продукцію при низьких температурах у місцях його зберігання.

3. Технічне обґрунтування

Технологічний цикл виготовлення та обробки зернових культур складний та енерговитратний. Після жнив продукція потрапляє до сушильних апаратів для зниження вологості. Існує умовна класифікація основних типів сушарок, яка наведена у табл. 3.1

Класифікаційна ознака	Тип сушильної установки	Класифікаційна ознака	Тип сушильної установки	
Режим роботи	періодичної дії	За типом теплоносія	повітряна	
	безперервної дії		топкові гази	
За конструктивним виконанням	стаціонарні		Величина тиску в камері	суміш повітря з топковими газами
	пересувні			атмосферна
Спосіб підведення теплоти	конвективний		Спосіб циркуляції теплоносія	вакуумна
	кондуктивний			природна
	контактний	примусовою		
	вакуумний	Напрямок потоку матеріалу та теплоносія	прямотечійний	
	радіаційний		протитечійний	
	висоочастотний		перехресний	
	комбінований		бункери та силоси для вентилявання	
За станом зернового шару	елементарний	Особливості конструкції	шахтні	
	щільний нерухомий		колонкові	
	щільний рухомий		карусельні	
	псевдозріджений		барабанні	
	віброкиплячий		конвеєрні	
	падаючий		камерні	
	завислий		баштові	

Таблиця 3.1 – Класифікація основних типів сушарок

На потужностях Кононівського елеватору (Миргородської ділянки) використовують зерносушарки: Sukur і MC-1195 (США), ДСП-32-2, ДСП-50 (2 шт).

Після процесу осушки вміст вологи у зерні складає на рівні 14-16%. Класифікація зерна за мірою його «сухості» наведена у таблиці 1 відповідно до ДСТУ 4966:2008.

					<i>КР 000.142.008.002.2022.РПЗ</i>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	<i>Д.М. Степаніцев</i>				Проект холодильної установки з обробки зернових культур холодом продуктивністю 600 т. на добу на базі Кононівського елеватору	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.							9	62
Реценз.						<i>ТЕХТ ННІТІ НУХТ</i>		
Н. контр.								
Затверд.	<i>М.О. Прядко</i>							

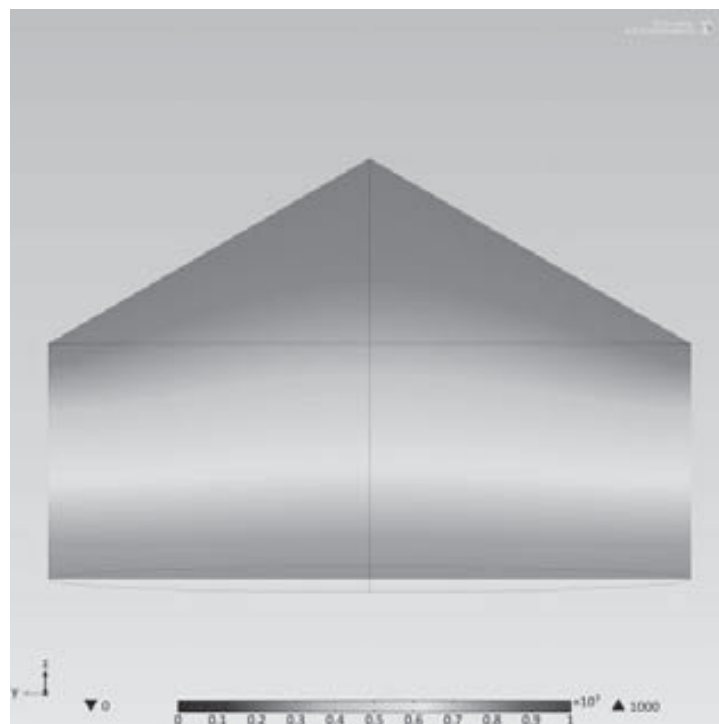
Температура зерна досягає $\sim 60^{\circ}\text{C}$, надається певний час для охолодження природнім шляхом до температури $30 - 35^{\circ}\text{C}$. Далі зерно завантажують за у силоси.

Культура	Вологість зерна, %					
	сухе –до	Середньої сухості		Вологе		сире – вище
		вище	до	вище	до	
Пшениця	14	14	15,5	15,5	17	17
Ріпак	8	8	10	10	12	12
Ячмінь	14	14	15,5	15,5	17	17
Овес	14	14	16	16	18	18
Кукурудза	14	14	16	16	18	18

Таблиця 3.1 Класифікація стану зерна в залежності від вологості за ДСТУ 4966:2008

Для повторного зменшення температури зерно продувають повітрям з температурою навколишнього середовища.

Охолодження зерна в силосах на Кононівському елеваторі здійснюється, за допомогою обдуву зерна вентилятором повітрям з температурою та вологістю навколишнього середовища. Існує певна проблематика при зберіганні зерна. На нашому об'єкті температура зберігання досягає не більше 25°C . Але бувають критичні ситуації, коли неможливо знизити температуру у певних шарах зернової маси (див. графік 3.1)



Графік 3.1 Градієнт температур у силосі [8]

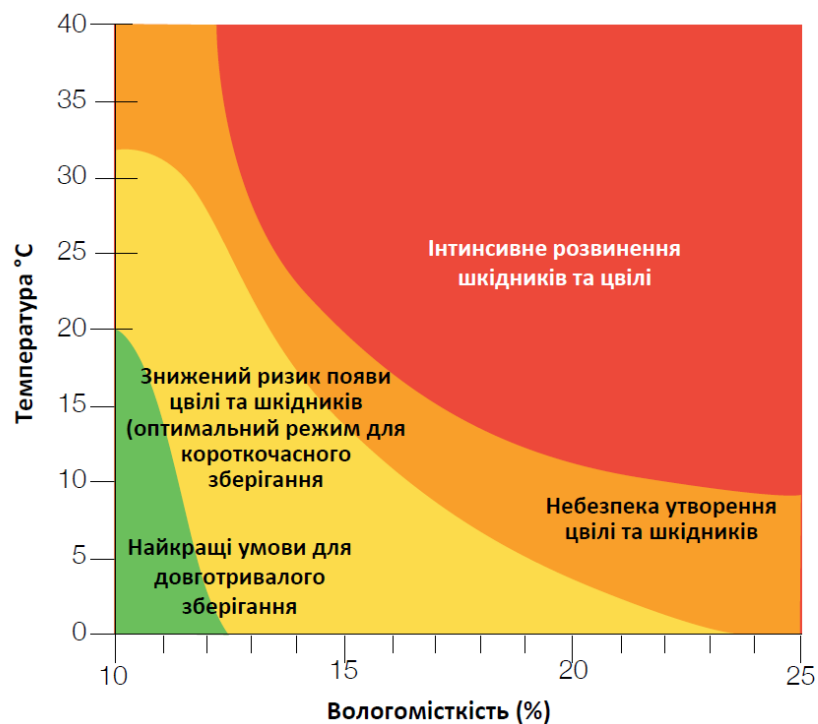
					КР 000.142.008.002.2022.РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Тобто, ми напряду завжди залежимо від погодних умов регіону та від часових проміжків. Виникають ризики утворення високих температур у середніх шарах та утворенню сприятливих умов для розвинення шкідників (рис. 3.1)



Рис. 3.1 Фотографія довгоносика, який зародився внаслідок підвищення температури зернової маси

Навіть при умові зберігання при максимальній температурі 25 °С та вологовмісті у 14% є ризики для розвинення комах, плісняви та втрати значної частини сухої маси продукції (діаграма 3.1)



Діаграма впливу температури та вологості на зерно під час зберігання 3.1

З діаграми 3.1 видно, що при теперішніх умовах зберігання (вологовміст зерна ~14%, температура до 25 °С) ми потрапляємо до помаранчевого діапазону, де є ризики утворення цвілі та шкідників.

Проаналізуємо економічні втрати при зберіганні зерна за таких вихідних параметрів:

Маса зерна, що зберігається: 1000 тон

Вологість зерна: 16%

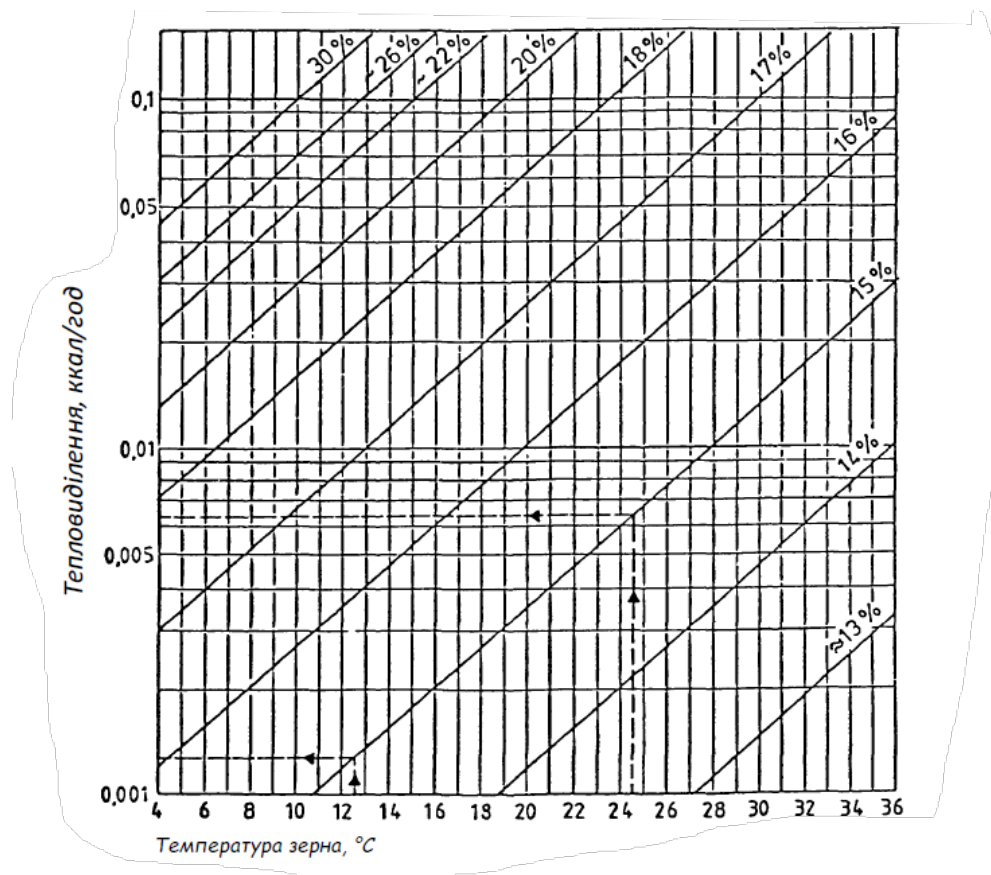
Термін зберігання: 35 діб

Вартість: 9500 грн/тонна (станом на 13.05.2022)

Втрата сухої маси зерна розраховується за наступною формулою:

$$\text{Втрата сухої маси} = \frac{\text{тепловиділення} \times 24 \text{ год} \times \text{термін зберігання} \times \text{маса зерна, що зберігається}}{3600}$$

Тепловиділення, визначаємо за діаграмою 3.2



Діаграма 3.2 Яка характеризує утворення тепла при зберіганні зернової культури

Результати розрахунків:

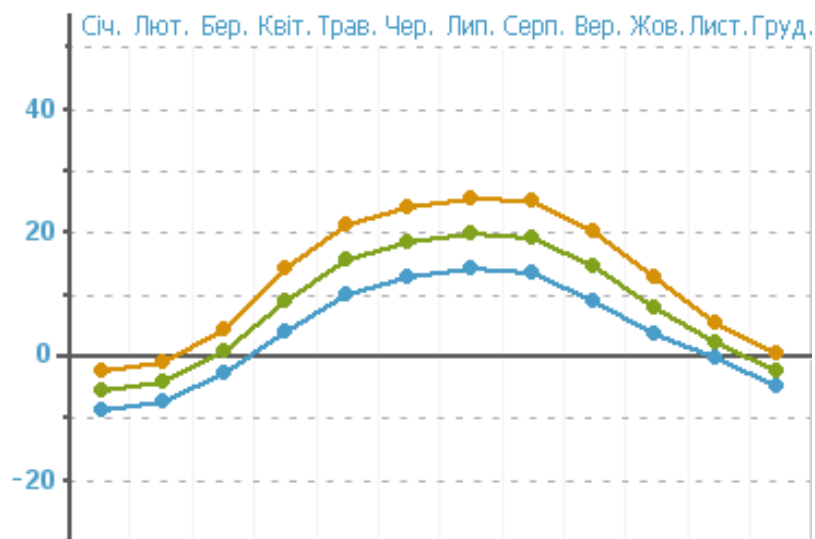
										Арк.
										12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КР 000.142.008.002.2022.РПЗ					

Втрати сухої маси зерна						
№	Обсяг зберігання, тон	Тривалість зберігання, діб	Температура зберігання, °С	Вологість зерна, %	Тепловиділення, ккал/год	Втрати зерна, тон
1	1000	35	30	15	0,015	3,5
2	1000	35	25	15	0,0065	1,516666667
3	1000	35	20	15	0,0035	0,816666667
4	1000	35	15	15	0,0019	0,443333333
5	1000	35	11	15	0,001	0,233333333

При таких умовах, на елеваторі втрачається близько 1,5 тони на 1000 тон продукції при зберіганні упродовж 35 діб. В грошовому еквіваленті становить близько ~ 14 400 грн. При охолодженні зерна до температури 11-13 °С економічні втрати становлять близько – 1900 грн на 1000 тон зерна. В економічному плані втрати зменшуються на ~87%. При охолодженні до 5..8 °С втрати сухої маси незначні.

При «диханні» точково можуть утворюватися високі температури. Через це потрібно перевантажувати зерно та проводити повторні аналізи на предмет їх якості. Цей процес супроводжується втратами продукції, та додатковими матеріальними витратами, які теж необхідно враховувати.

Зернові культури після збору можуть мати вологість до 30 %. При процесі збірки температура зерна дорівнює температурі повітря навколишнього середовища. Для нашого регіону розрахункову температуру приймаємо середньомісячну максимальну ~ 29-30 °С (відповідно до діаграми 3.3)



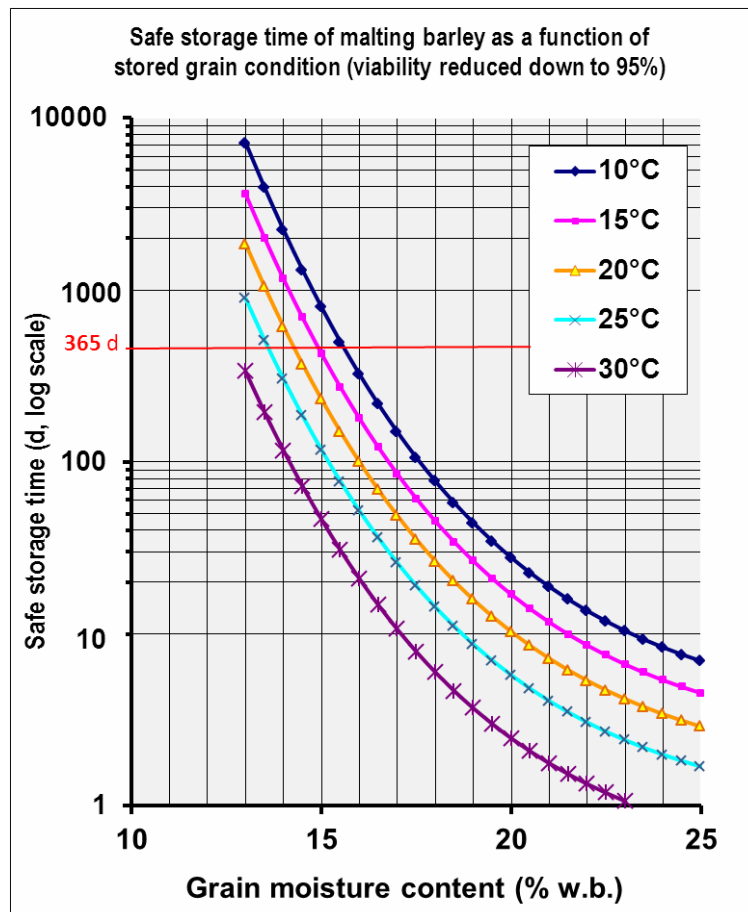
Діаграма 3.3 середня місячна температура у Черкаській області [5]

Через інтенсивну життєдіяльність мікроорганізмів унаслідок присутності надлишкової вологості та інших біологічних елементів створюються умови для

«самозігрівання» зерна. Самозігрівання зерна відбувається через хімічний процес «дихання», описаний наступною хімічною формулою 3.1 :



Саме цей процес спричиняє зниження якості вихідної продукції та інтенсифікує наші ризики. За діаграмою 3.4 можемо визначити параметри, за яких можемо мінімізувати наші ризики.



Діаграма 3.4 залежності тривалості зберігання зерна від температури та вологості [12]

Відповідно до отриманих результатів, робимо висновок, що в діапазоні температури від 8-11 °С та при вологовмісткості зерна 10-14% пригнічується активна мікрофлора. Та отримуємо режим для довготривалого зберігання продукції.

4. Опис запропонованого технічного рішення.

Принцип роботи обладнання

Передбачається розробка модульної холодильної установки номінальною потужністю 600 т/добу для активної вентиляції з штучним охолодженням зернової культури.

Зазвичай для зниження температури у силосах використовують аерацію повітрям з температурою н.с.(рис 4.1) Процес охолодження буде здійснюватися за допомогою попередньо підготовленого та охолодженого повітря.

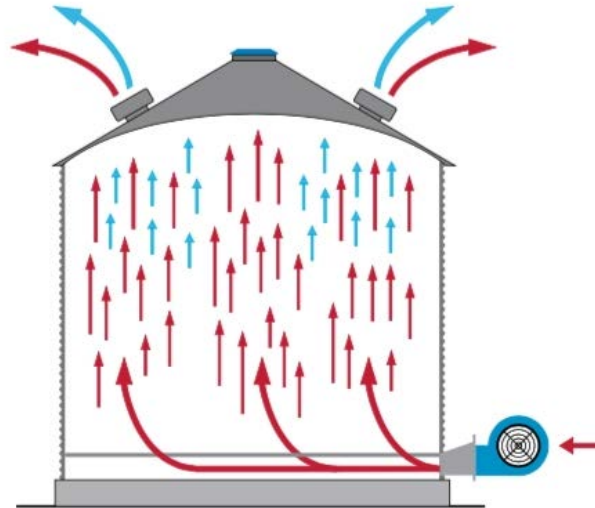


Рис.4.1. Ілюстративне зображення класичного процесу аерації силосу

Модульна холодильна установка для охолодження зерна (далі МХУОЗ) складається з: вентилятору високого тиску, холодильного вузла, повітроохолоджувача, конденсатору, патрубку для приєднання. Вентилятор всмоктує повітря, проходить через фільтр грубої очистки, охолоджується у повітроохолоджувачі (у процесі охолодження виділяється волога). Підготовлене сухе, охоложене повітря подається до силосу або насипу по вентиляційним каналам.

Основною вимогою до конструкції МХУОЗ – є можливість пересування, для більшої гнучкості технологічних процесів та економічної ефективності.

					<i>КР 000.142.008.002.2022.РПЗ</i>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		<i>Д.М. Степаніцев</i>			<i>Проект холодильної установки з обробки зернових культур холодом продуктивністю 600 т. на добу на базі Кононівського елеватору</i>	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.							15	62
Реценз.						<i>ТЕХТ ННІТІ НУХТ</i>		
Н. контр.								
Затверд.		<i>М.О. Прядко</i>						

МХУОЗ може бути застосована для охолодження:

1. Вологого (>30%) свіжозібраного, очищеного зерна, яке ще не пройшло етап сушки. Для короткочасного зберігання. Тривалість потрібної тимчасової консервації вологого зерна на Кононівському елеваторі триває від 1 до 2 тижнів. Середня максимальна вологість складає приблизно 23,5-24%. І має зберігатись при температурі > 10 °С відповідно до діаграми 3.4 залежності тривалості зберігання зерна від температури та вологості.

2. Сухого (14-16%) попередньо охолодженого до 30-35 °С зерна. Для зберігання на певний (довготривалий) проміжок часу.

МХУОЗ складається з наступних компонентів: повітряний фільтр, патрубок для з'єднання з системою вентиляції силосу, холодильний блок (випарник, компресор, конденсатор, ресивер, ЕРВ, фільтр, блок автоматизації), нагнітаючий вентилятор, рама для транспортування.

Повітря з навколишнього середовища за допомогою вентилятор всмоктується до МХУОЗ, проходить грубу механічну очистку, та потрапляє до випарника, де охолоджується за рахунок кипіння холодоагенту до температур 5°C, деяка частина повітря конденсується його стінках. Далі охолоджене та осушене повітря потрапляє до силосу. Де охолоджує зернову масу, відповідно охолодне середовище починає нагріватись та вбирати в себе деяку вологу від зерна. Після тепле повітря викидається через вентиляційні люки встановлені на криші зернового силосу. Холодоагент конденсується в конденсаторі. Цикл повторюється.

У варіанті МХУОЗ без рециркуляції охолодженого повітря ми будемо мати значні потужності холодильної машини, адже ми викидаємо у навколишнє середовище охолоджене повітря. Тому приймаємо, що МХУОЗ буде всмоктувати назад повітря, яке пройшло через зерно. Схематично процес зображений на рис. 4.2

					<i>КР 000.142.011.007.2022.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

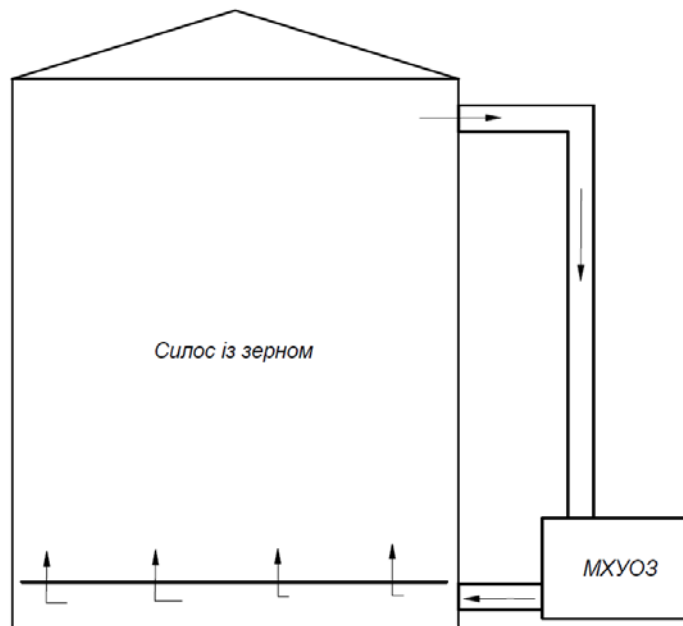


Рис.4.2 Схематичне зображення роботи МХУОЗ з рециркуляцією повітря

Температура навколишнього середовища майже не впливає на температуру зерна у силосі. Хоч і холодильна машина в достатній мірі зупиняє аеробне дихання, все ж воно відбувається. Оскільки, цей процес складний – і для його моделювання потрібно мати великий масив даних. Тому скористаємось літературою, де були приведені дані по самозігріванню зернової маси в залежності від її температури та відносної вологості [7]

Культура	Точка зігрівання до, °С	Періодичність охолодження, діб						
		16%	18%	20%	22%	24	26%	28 %
Пшениця	20	88	48	25	17	13	11	9
	15	74	39	20	13	10	8	7
	10	56	25	13	9	7	5	4
Ячмінь	20	90	45	19	12	9	7	6
	15	77	36	15	10	7	5	5
	10	57	24	10	6	4	3	3

Табл. 4.1. Самозігрівання зернової маси в залежності від її температури та відносної вологості

Консервація дрібнонасіневої культури відбувається у 20х числах серпня. При наших умовах роботи температура зерна підніметься до 10 °С за 56 діб.

Середньомісячна максимальна температура н.с. у середині-наприкінці жовтня місяця складатиме близько 10-12 °С. Можемо зробити висновок, що процес охолодження 600 тон зернової маси можемо робити один раз без необхідності повторного охолодження.

					<i>КР 000.142.011.007.2022.ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		18

5. Розрахунок теплонадходжень до силосу

Оскільки певний проміжок часу, температура у силосі буде менше за температуру навколишнього середовища, тому на поверхні металевого силосу буде утворюватись конденсат. Конденсат у свою чергу впливає на конструкцію (підвищується ризик корозії і тд.). Проведемо розрахунок товщини шару ізоляцію та теплонадходжень до силосу. Середня вологість повітря у центральних регіонах України (рис.6.1) складає приблизно ~70% (у період серпень – вересень).

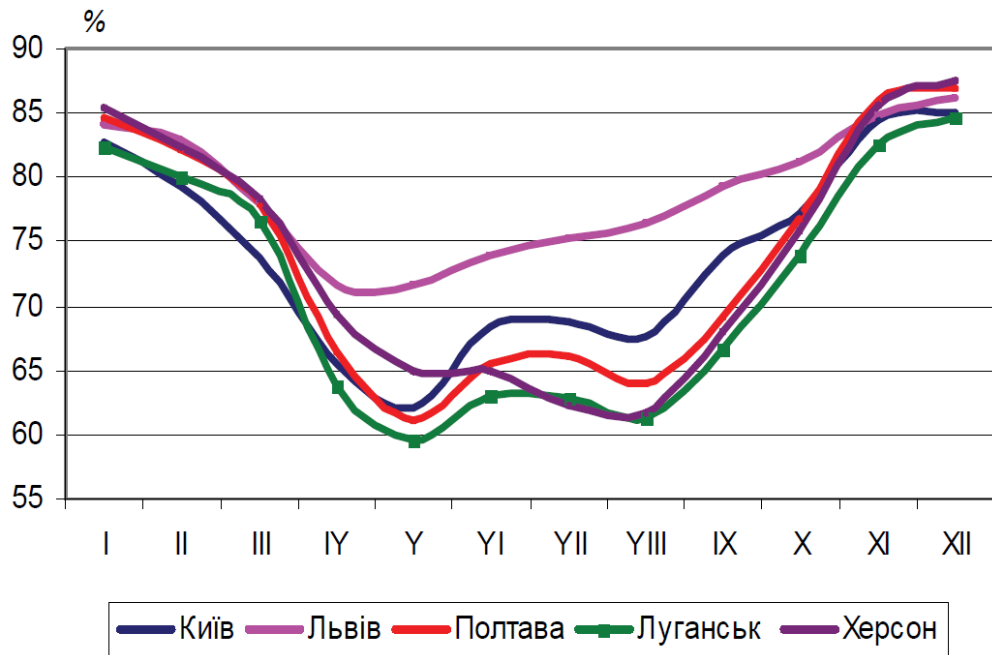


Рис. 6.1 Діаграма залежності відносної вологості повітря від місяцю [11]

За наступних параметрів повітря: $t = 35^\circ$, $\varphi = 70\%$. Точка випадіння роси буде: $t = 28,7^\circ\text{C}$ (рис. 6.2)

					КР 000.142.008.002.2022.РПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Проект холодильної установки з обробки зернових культур холодом продуктивністю 600 т. на добу на базі Кононівського елеватору	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		Д.М. Степаніцев					19	
Перевір.								
Реценз.								
Н. контр.								
Затверд.		М.О. Прядко			ТЕХТ ННІТІ НУХТ			

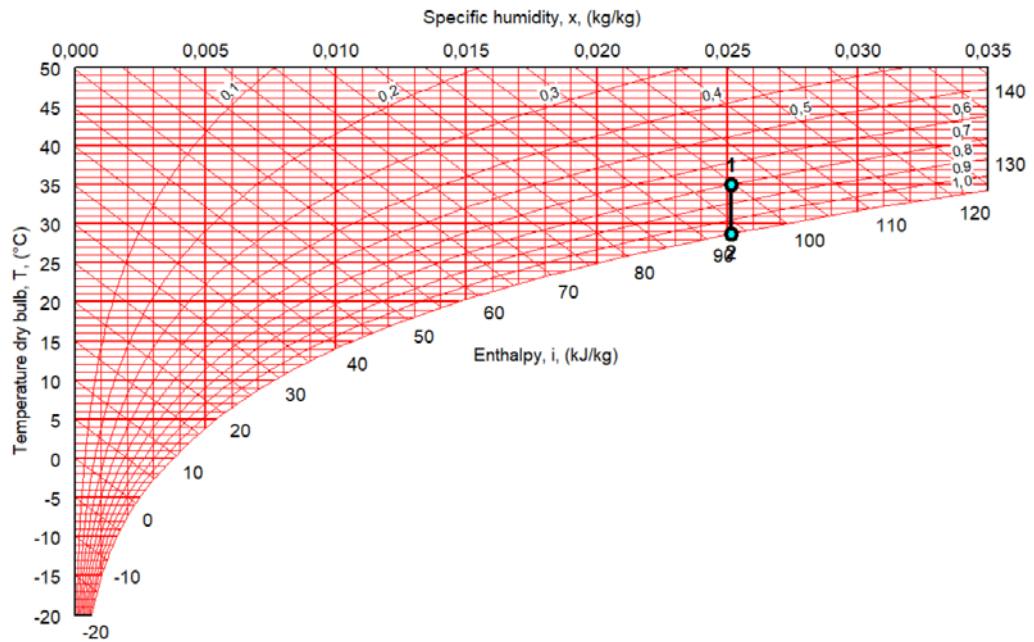


Рис.6.2 Визначення точки роси за допомогою діаграми Мольєра

Розрахунок товщини теплоізоляції проводимо за формулою 6.1

$$\delta_{\text{із}} = \lambda_{\text{із}} \left(\frac{1}{k_0^{\text{необ.}}} - \left(\frac{1}{\alpha_3} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_в} \right) \right), \quad (6.1)$$

де,

$k_0^{\text{необ.}}$ – необхідний коефіцієнт теплопередачі для стін охолодного середовища (довідкове значення), Вт/м²·К

α_3 – коефіцієнт тепловіддачі для зовнішньої поверхні стіни, Вт/м²·К

$\lambda_{\text{із}}$ – коефіцієнт теплопровідності для ізоляції, Вт / м·К

δ_i – товщина огорожувальної конструкції, м

λ_i – теплопровідність огорожувальної конструкції, Вт / м·К

$$\delta_{\text{із}} = \lambda_{\text{із}} \left(\frac{1}{k_0^{\text{необ.}}} - \left(\frac{1}{\alpha_3} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_в} \right) \right) = 0,087 \text{ м} = 87 \text{ мм}$$

Приймаємо $\delta_{\text{із}} = 100$ мм та перераховуємо дійсний коефіцієнт теплопередачі через огорожувальну конструкцію за формулою 6.2

$$k_{\text{дійсний}} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\alpha_3} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{\delta_i}{\lambda_i}\right) + \frac{\delta_i}{\lambda_i}} = 0,28 \text{ Вт/м}^2\text{К}, (6.2)$$

Розраховуємо теплонадходження до стінок за формулою 6.3

$$Q = k_d \cdot F \cdot \Delta t, (6.3)$$

де, F – площа поверхні силосу, м^2

Δt – різниця температур (між температурою в середині силосу, та температурою н.с), $^{\circ}\text{C}$

Параметри силосу ВВК.16.16.В12:

$$D = 16 \text{ м}$$

$$h = 23,926 \text{ м}$$

$$m \text{ (для пшениці)} = 3\,294 \text{ тон (при щільності } 0,8 \text{ т/м}^3\text{)}$$

$$V = 4117 \text{ м}^3$$

Оскільки силос має циліндричну форму, розрахуємо площу бічної поверхні та даху за наступною формулою 6.4

$$F = 2\pi r h + \pi r^2, (6.4)$$

$$F_6 = 2 \cdot 3,14 \cdot 8 \cdot 23,926 + 3,14 \cdot 8^2 = 1\,403 \text{ м}^2$$

Теплонадходження до огорожувальної конструкції силосу від навколишнього середовища:

$$Q_{\text{огр.}} = k_d \cdot F \cdot \Delta t = 0,28 \cdot 1403 \cdot (35 - 5) = 12,143 \text{ кВт}$$

Теплонадходження від ґрунту до силосу. Підлога у силосі немає шару ізоляції. Тому відповідно до рекомендацій [12] необхідно підлогу «розбити на 4 умовні зони з кроком у 2 м (рис. 6.3)

					<i>КР 000.142.008.002.2022.РПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

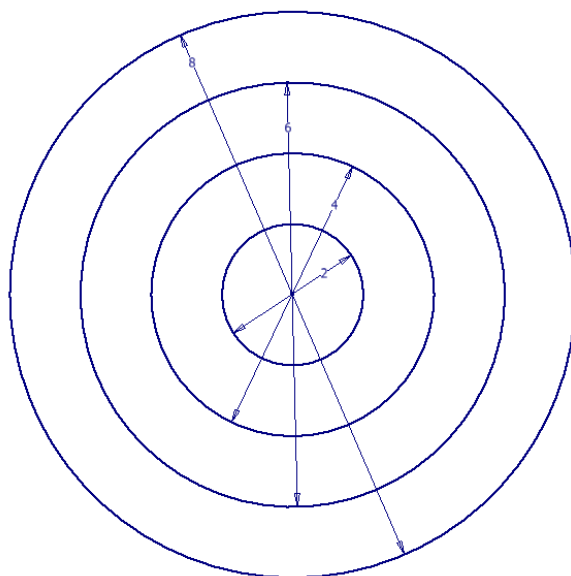


Рис.6.3 Умовне розподілення підлоги силосу на 4 зони

Відповідно до формули 6.5 проводимо розрахунок теплонадходжень від ґрунту

$$Q_{\Gamma} = \sum k_{\text{зони}} F (t_{\text{н}} - t_{\text{в}}), (6.5)$$

Площа першої зони: $F_I = \pi r_1^2 - \pi r_2^2 = 87,9 \text{ м}^2$

Площа другої зони: $F_{II} = \pi r_2^2 - \pi r_3^2 = 62,832 \text{ м}^2$

Площа третьої зони: $F_{III} = \pi r_3^2 - \pi r_4^2 = 37,7 \text{ м}^2$

Площа четвертої зони: $F_{IV} = \pi r_4^2 = 12,56 \text{ м}^2$

Умовні коефіцієнти теплопередачі для кожної зони:

$$k_I = 0,47 \text{ Вт/м}^2\text{К}$$

$$k_{II} = 0,23 \text{ Вт/м}^2\text{К}$$

$$k_{III} = 0,12 \text{ Вт/м}^2\text{К}$$

$$k_{IV} = 0,07 \text{ Вт/м}^2\text{К}$$

$$Q_{\Gamma} = \sum k_{\text{зони}} F (t_{\text{н}} - t_{\text{в}}) = 1,835 \text{ кВт}$$

Теплонадходження від сонячної радіації:

$$Q_p = k_d \cdot F \cdot \Delta t_c, (6.6)$$

де, Δt_c – надлишкова різниця температура, яка характеризує дію сонячної радіації в літній час, °С. Для верхньої частини силосу приймаємо $\Delta t_c = 15 \text{ °С}$

$$Q_{p1} = k_d \cdot F \cdot \Delta t_c = 0,28 \cdot 200,96 \cdot 15 = 0,844 \text{ кВт}$$

					<i>КР 000.142.008.002.2022.РПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Для бічної частини силосу приймаємо $\Delta t_c = 4,7 \text{ }^\circ\text{C}$

$$Q_{p2} = k_d \cdot F \cdot \Delta t_c = 0,28 \cdot 1\,202 \cdot 15 = 5,048 \text{ кВт}$$

Загальні теплонадходження до силосу через шал ізоляції та тонкостінну металеву стінку:

$$\Sigma Q = Q_{p1} + Q_{p2} + Q_{\Gamma} + Q_{\text{огр.}} \approx 20 \text{ кВт}$$

Визначаємо густину теплового потоку та температуру на поверхні силосу за формулою 6.7

$$q = \frac{t_3 - t_B}{\frac{1}{\alpha_3} + \frac{\delta_{i3}}{\lambda_{i3}} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_B}} = 8,6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

$$t_{c1} = t_B + q \frac{1}{\alpha_B} = 5,786 \text{ }^\circ\text{C}, \text{ (6.7)}$$

$$t_{c2} = t_{c1} + q \frac{\delta_{i3}}{\lambda_{i3}} = 34,623 \text{ }^\circ\text{C},$$

$$t_{c3} = t_{c2} + q \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} = 34,624 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Температура t_{c3} на поверхні стінки силосу майже дорівнює температурі навколишнього середовища. Можемо зробити висновок, що конденсат на поверхні випадати не буде.

					<i>КР 000.142.008.002.2022.РПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

6. Розрахунок потужність для охолодження зерна

Значення відносної вологості повітря – є важливим фактором в процесі охолодження, оскільки зернова культура має високі гігроскопічні властивості, тому високі значення вологості повітря небажані. Оскільки, можуть впливати на термін зберігання продукції та його якість відповідно.

Процес охолодження повітря в МХУОЗ можемо описати на i-d Діаграмі Мольтє. Повітря потрапляє до МХУОЗ з $t_{н.с}$ та вологовмістом d_1 проходить через вентилятор, фільтр та потрапляє до повітроохолоджувача (випарника). Повітря проходячи через вентилятор нагрівається на Δt . Проходячи через випарник, повітря охолоджується до t_4 . Після випарника повітря осушується, та досягає параметрів t_4, d_4

Першочергово стоїть задача для створення МХУОЗ для охолодження (консервації) осушеного зерна, тому при розрахунку холодильної потужності МХУОЗ приймаємо параметри сухого зерна. Після знаходження параметрів установки, проведемо аналіз потужності роботи МХУОЗ при умові зерна з підвищеною вологістю.

Охолодження зерна – це складний процес теплообмінну, що супроводжується не лише зміною температури, а зміною вологовмісту зерна та охолодного середовища. Тому для розрахунку будемо використовувати методологію різних авторів

Проводимо розрахунок МХУОЗ без рециркуляції повітря:

					<i>КР 000.142.008.002.2022.РПЗ</i>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		<i>Д.М. Степаніцев</i>			<i>Проект холодильної установки з обробки зернових культур холодом продуктивністю 600 т. на добу на базі Кононівського елеватору</i>	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.							24	62
Реценз.								
Н. контр.								
Затверд.		<i>М.О. Прядко</i>						
						<i>ТЕХТ ННІТІ НУХТ</i>		

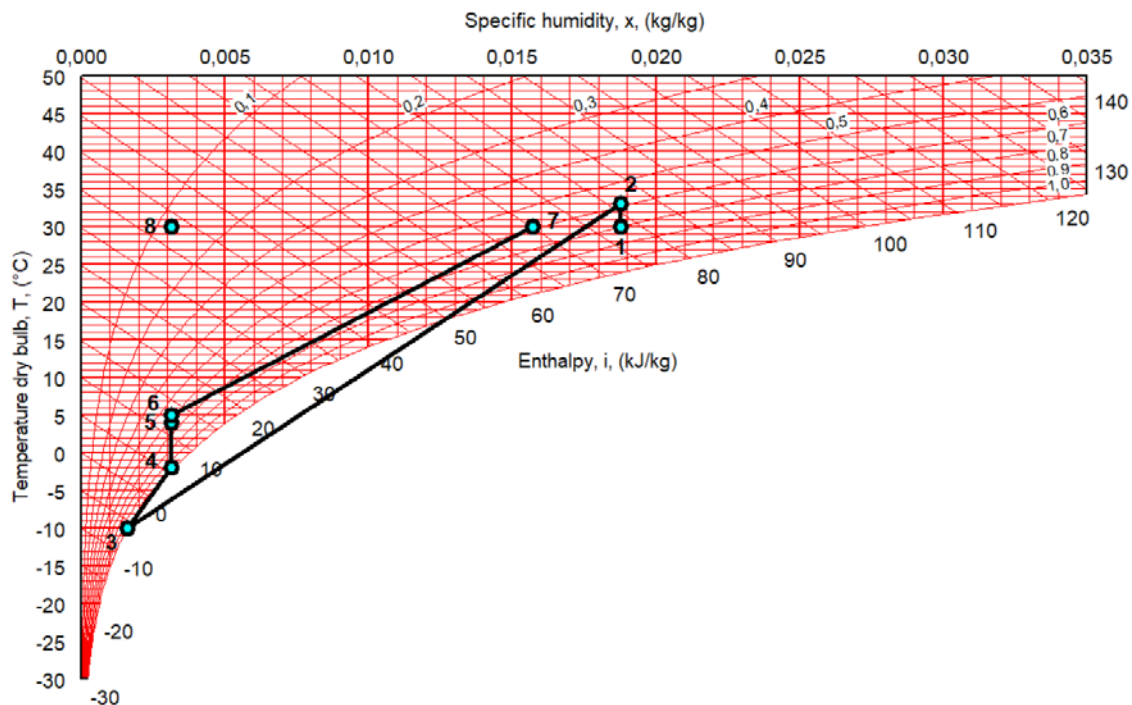
Гігроскопічність - це показник, який характеризує здатність зернової маси до сорбції та десорбції парів води. Зернова маса - хороший сорбент, що пояснюється капілярно-пористою структурою зерна. Якби у нас проходив процес без вологообміну, то на діаграмі Мольтє, процес стану повітря, яке проходить через шар зерна характеризувався би, як процес 6-8 (див. Діаграма 6.1). Але вологовміст повітря змінюється, тому процес описується, точками 6-7.

При охолодженні в силосі встановлюється рівноважна вологість. Нам необхідно недопустит зволоження зерна вище 14%. Тому задаємось значення відносної вологості для точки 5. (див табл. 5.3)

Відносна вологість повітря, %	Температура зерна, °C				
	-10	0	10	20	30
	Вологовміст пшениці, %				
60	13,7	13,5	13,3	13,1	12,5
65	14,5	14,2	14,0	13,7	13,2
70	15,3	15,0	14,7	14,3	14,0
75	16,2	15,8	15,5	15,1	14,8
80	17,1	16,7	16,3	16,0	15,7
85	19,4	18,9	18,4	18,0	17,5

Таблиця 5.3 Рівноважна вологість зерна до відносної вологості повітря.

Відповідно до таблиці т.6 $\phi = 60\%$. За діаграмою Мольтє визначаємо необхідні параметри для досягнення такої вологості. Параметри точки повітря на виході із силосу приймаємо наступні: Температура точки дорівнює температурі зернової маси на вході до силосу (~ 30 °C).



Діаграма 6.1 Точки параметрів повітря (для схеми без рециркуляції повітря)

Параметри точки 1 ($t_1 = 30^\circ\text{C}$, $\phi_1 = 70\%$) [6] (середня максимальна температура повітря зафіксована у Черкаській області). Значення нагріву повітря проходячи через вентилятор приймаємо $\Delta t = 3\text{K}$, тоді параметри т.2 наступні: $t_2 = t_1 + \Delta t = 30 + 3 = 33^\circ\text{C}$. Точка 3 дорівнює температурі кипіння (-10°C) у випарнику. Для розрахунку приймаємо $\Delta t = 8-10\text{K}$ на випарнику, тоді $t_4 = -2$. Оскільки, відповідно до таблиці 5.3 нам необхідно досягти відносної вологості у $\phi = 60\%$. Повітря підігрваємо (процес 4-5) за допомогою підігрівника до $t_5 = 4^\circ\text{C}$. Проходячи через вентиляційний канал повітря підігрвається ще на декілька градусів, прийємо значення 1-1,5 K. Тоді $t_6 = 4 + 1 = 5^\circ\text{C}$.

Відповідно до діаграми 6.1 параметри точок 1-8

№	Температура, °C	Ентальпія, кДж/кг	Відносна вологості, %	Вологовміст, кг/кг	Примітка
1	30	78,2	70	$18,78 \cdot 10^{-3}$	
2	33	81,3	59	$18,78 \cdot 10^{-3}$	
3	-10	-6,1	100	$1,6 \cdot 10^{-3}$	
4	-2	5,8	98	$3,13 \cdot 10^{-3}$	
5	4	11,9	62,4	$3,13 \cdot 10^{-3}$	
6	5	12,9	58,2	$3,13 \cdot 10^{-3}$	
7	30	70,3	58,8	$15,7 \cdot 10^{-3}$	
8	30	38,1	12	$3,13 \cdot 10^{-3}$	

Табл. 6.1 Параметри точок стану повітря

Холодильна потужність визначається як:

$$Q_{\text{хол}} = V_{\text{пов}} \rho_{\text{пов}} (h_2 - h_3), \text{ де}$$

$V_{\text{пов}}$ – об'єм повітря, який подає вентилятор, $\text{м}^3/\text{с}$

$\rho_{\text{пов}}$ – густина повітря, $\text{кг}/\text{м}^3$

h_1, h_2 – ентальпія (точок 1, 2 відповідно), $\text{кДж}/\text{кг}$

Кількість теплоти яку нам необхідно відвести від продукції, має наступний вигляд:

$$Q = m_{\text{зерна}} c_{\text{зерна}} (t_{\text{п.зерна}} - t_{\text{к.зерна}}), \text{ де}$$

$m_{\text{зерна}}$ – маса зерна, кг

$c_{\text{пов}}$ – питома теплоємність зерна, $\text{кДж}/\text{кг} \text{ } ^\circ\text{C}$

$t_{\text{п.пов}}$ – початкова температура зерна, $^\circ\text{C}$

$t_{\text{к.пов}}$ – кінцева температура зерна, $^\circ\text{C}$

Оскільки охолодження здійснюється потоком повітря, тоді

$$Q = G_{\text{пов}} c_{\text{пов}} (t_{\text{п.пов}} - t_{\text{к.пов}}), \text{ де}$$

$G_{\text{пов}}$ – кількість повітря необхідного для охолодження, кг

$c_{\text{пов}}$ – питома теплоємність повітря, $\text{кДж}/\text{кг} \text{ } ^\circ\text{C}$

$t_{\text{п.пов}}$ – початкова температура повітря, $^\circ\text{C}$

$t_{\text{к.пов}}$ – кінцева температура повітря, $^\circ\text{C}$

Звідси знаходимо, що:

$$G_{\text{пов}} c_{\text{пов}} (t_{\text{п.пов}} - t_{\text{к.пов}}) = m_{\text{зерна}} c_{\text{зерна}} (t_{\text{п.зерна}} - t_{\text{к.зерна}})$$

Маса повітря, необхідне для охолодження зерна:

$$G_{\text{пов}} = m_{\text{зерна}} \frac{c_{\text{зерна}}}{c_{\text{повітря}}}$$

					КР 000.142.008.002.2022.РПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Вологість зерна, %	Температура зерна, °С						
	0	10	20	30	40	50	60
10	1428	1498	1568	1638	1707	1777	1847
11	1491	1558	1626	1696	1762	1832	1903
12	1558	1622	1687	1752	1817	1880	1943
13	1619	1681	1743	1804	1866	1920	1990
14	1682	1740	1799	1857	1915	1973	2031
15	1747	1801	1855	1910	1964	2018	2073
16	1802	1852	1903	1953	2004	2055	2105
17	1861	1906	1952	1997	2042	2088	2133
18	1934	1967	2000	2041	2082	2122	2163
19	1975	2010	2046	2081	2116	2152	2187
20	2031	2062	2092	2122	2152	2184	2215
21	2084	2108	2133	2158	2183	2208	2232
22	2138	2157	2176	2195	2214	2233	2252
23	2190	2203	2216	2229	2242	2254	2267
24	2242	2249	2256	2263	2269	2276	2283
25	2292	2292	2292	2292	2292	2292	2292
26	2340	2334	2329	2323	2317	2312	2306
27	2396	2382	2369	2356	2342	2328	2315
28	2439	2418	2398	2378	2358	2338	2317
29	2488	2460	2432	2404	2376	2348	2321
30	2533	2498	2464	2430	2396	2362	2328

Табл. 6.2 Питома теплоємність с (Дж/(кг· К)) пшениці та ячменю [2]

$$G_{\text{пов}} = 600\,000 \frac{1,804}{1,005} \approx 1\,021\,000 \text{ кг}$$

Відповідно до параметрів зерна, а саме пшениці $t = 30 \text{ °С}$, $\omega = 14\%$. У літературі, наведені характеристики питомої подачі повітря для охолодження зерна шляхом аерації (таблиця 2). Порівняємо із нашими значеннями

Вологість зерна, %	14	16	18	20	21	22	23	24	25	26
Питома подача повітря, м ³ /с°Т	0,0045	0,0064	0,0083	0,012	0,014	0,017	0,022	0,024	0,022	0,032

Табл. 6.3 Питома подача повітря для охолодження зернової маси [3]

Питома подача повітря для охолодження зернової маси [3]. За отриманими даними для охолодження 500 т зернової культури за добу, нам потрібно:

$$V_{\text{пов_табл}} = m_{\text{зерна}} q_{\text{повітря}} 3600 = 600 \cdot 0,0045 \cdot 3600 \approx 9\,720 \text{ м}^3/\text{год}$$

Проведемо наступний аналіз. Оцінимо тривалість охолодження за наступною формулою:

$$\tau = \frac{1000 \cdot c_3 \cdot m_3 (\theta_n - \theta_k)}{q \cdot m_{\text{п}} \cdot \rho \cdot (h_k - h_{\text{п}})}, (6.1)[4], \text{де}$$

τ – тривалість охолодження, год

c_3 – теплоємність зерна, кДж/кг·К

m_3 – маса зерна, кг

θ_n – початкова температура зерна, °С

θ_k – кінцева температура зерна, °С.

q – питома подача повітря, м³/год·т

$m_{\text{п}}$ – маса повітря, кг

ρ – питома подача повітря, м³/год·т

$h_{\text{п}}$ – ентальпія повітря на вході до силосу, кДж/кг

h_k – ентальпія на виході із силосу, кДж/кг

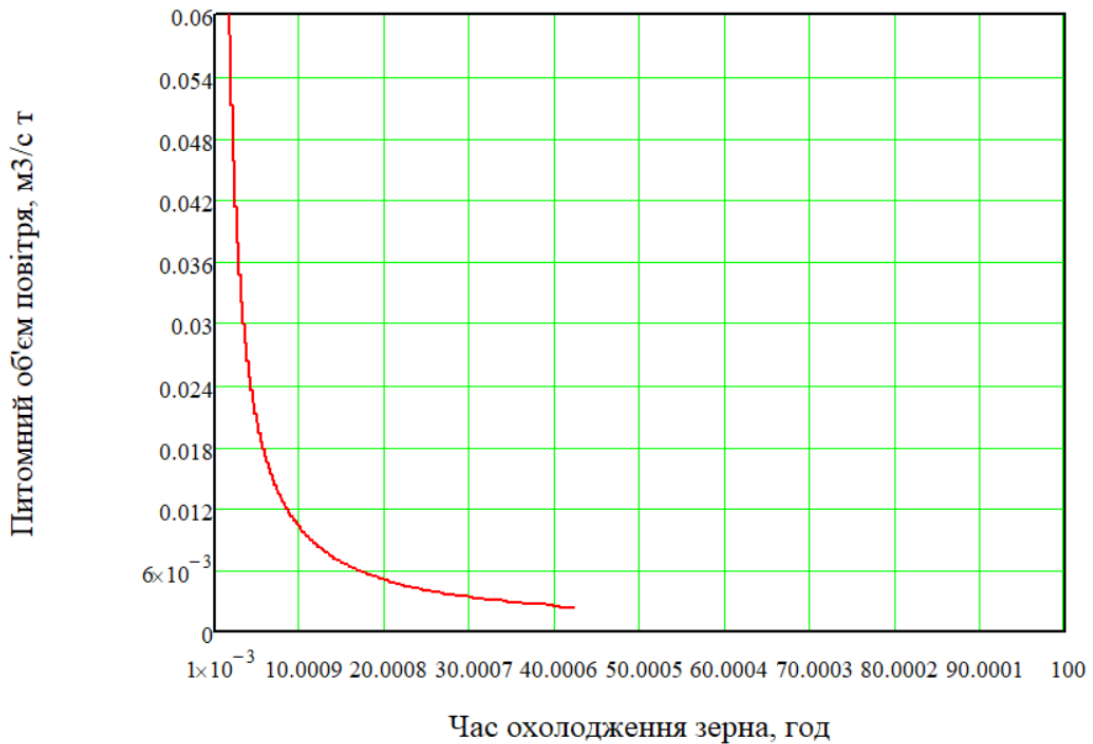
Розраховуємо час охолодження при рекомендаційних параметрах питомої подачі повітря:

$$\tau = \frac{1000 \cdot 1,804 \cdot 600\,000 \cdot (30 - 5)}{0,0024 \cdot 3600 \cdot 1\,021\,000 \cdot 1,2 \cdot (70,3 - 12,9)} = 22,51 \text{ год}$$

Будуємо графік (Графік 6.1) залежності часу охолодження від питомого об'єму повітря відповідно до формули 6.1:

$$\tau(q) = \frac{1000 \cdot c_3 \cdot m_3 (\theta_n - \theta_k)}{q \cdot m_{\text{п}} \cdot \rho \cdot (h_k - h_{\text{п}})}$$

					<i>КР 000.142.008.002.2022.РПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29



Графік 6.1 Графік залежності охолодження зерна від питомого об'єму повітря

Отже, теоретичний питомий об'єм повітря для охолодження зерна за 24 год складає $q = 0.00422 \text{ м}^3/\text{с}\cdot\text{т}$. Норма питомої подачі повітря – це відношення необхідної кількості повітря до допустимої тривалості охолодження. При технологічних умовах потрібно розуміти та пам'ятати, що максимальна тривалість охолодження залежить від вхідної вологості зерна.

$$V_{\text{пов}_{\text{теор}}} = m_{\text{зерна}} q_{\text{повітря}} 3600 = 600 \cdot 0,00422 \cdot 3600 = 9\,115,2 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

$$V_{\text{пов}_{\text{теор}}} < V_{\text{пов}_{\text{табл}}}, \text{ приймаємо значення } V_{\text{пов}_{\text{табл}}}$$

Тоді, холодильна потужність для охолодження пшениці наступна :

$$Q_{\text{хол_бр}} = V_{\text{пов}} \rho_{\text{пов}} (h_2 - h_3) = 2,7 \cdot 1,225 \cdot (81,3 - (-6,1)) \approx 290\,000 \text{ Вт}$$

Кількість вологи, яка виділяється при охолодженні повітря:

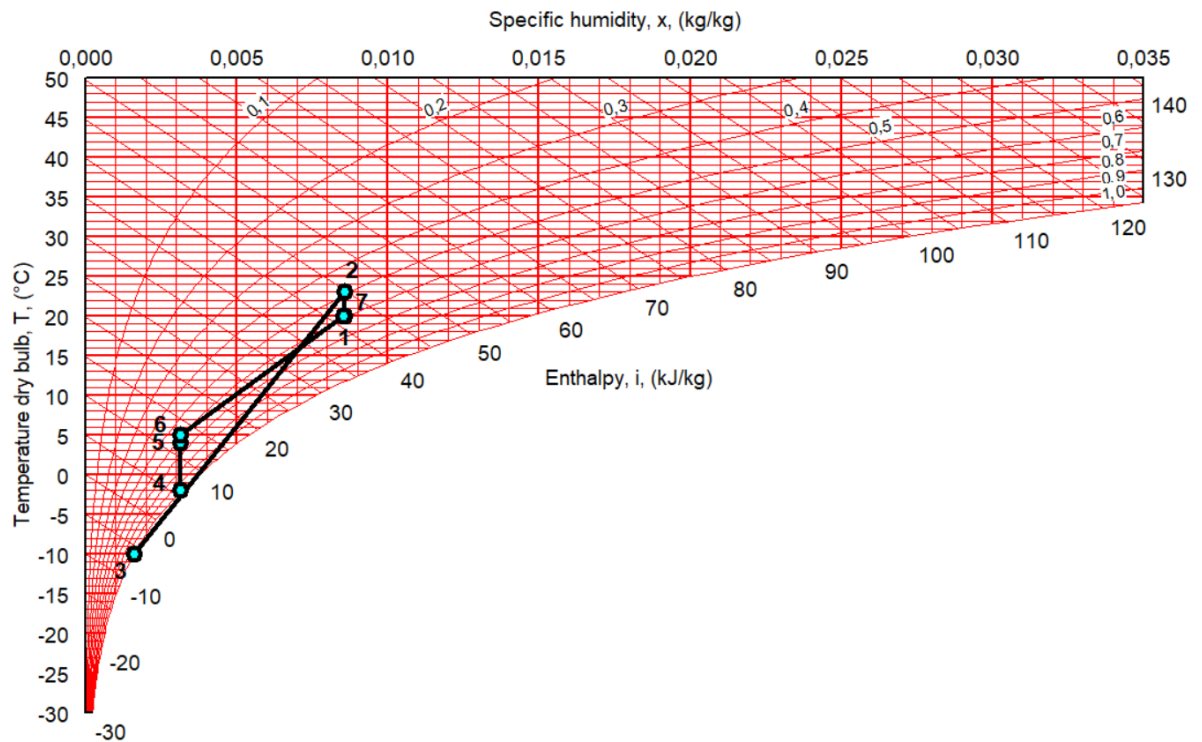
$$m_{\text{волога}} = V_{\text{пов}} \rho_{\text{пов}} (d_2 - d_3) = 2,7 \cdot 1,225 \cdot (18,78 - 1,6) \cdot 10^{-3} = 0,0568 \text{ кг/с}$$

Проводимо розрахунок МХУОЗ з рециркуляцією повітря:

Вхідне повітря до МХУОЗ буде приблизно дорівнювати температурі зерна у кожній момент роботи установки. Для розрахунку, температуру вхідного повітря (точка 1) приймаємо, як середнє значення температури між точками 7-3 (відповідно до діаграма 6.1).

$$t_1 = \frac{t_7 - t_3}{2} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

Будуємо цикл обробки повітря.



Діаграма 6.2 Точки параметрів повітря (для схеми з рециркуляцією повітря)

Всі процеси аналогічні до схеми без циркуляції повітря, окрім процесу 6-7, 1-2. Повітря, яке пройшло через силос повертається назад до МХУОЗ. За допомогою рециркуляції повітря ми змістили точку 1 до точки 7. Проведемо розрахунки для оцінки ефективності та зниження потужності.

№	Температура, °С	Ентальпія, кДж/кг	Відносна вологості, %	Вологовміст, кг/кг	Примітка
1	20	41,8	58,8	$8,55 \cdot 10^{-3}$	
2	23	44,9	48,9	$8,55 \cdot 10^{-3}$	
3	-10	-6,1	100	$1,6 \cdot 10^{-3}$	
4	-2	5,8	98	$3,13 \cdot 10^{-3}$	
5	4	11,9	62,4	$3,13 \cdot 10^{-3}$	
6	5	12,9	58,2	$3,13 \cdot 10^{-3}$	
7	20	41,8	58,8	$8,55 \cdot 10^{-3}$	

Табл. 6.3 Параметри точок стану повітря

Питомий об'єм повітря для охолодження зерна залишається незмінним. Розраховуємо холодильну потужність за таких умов роботи МХУОЗ.

Холодильна потужність для охолодження пшениці наступна:

$$Q_{\text{хол}_p} = V_{\text{пов}} \rho_{\text{пов}} (h_2 - h_3) = 2,7 \cdot 1,225 \cdot (44,9 - (-6,1)) \approx 169\,000 \text{ Вт}$$

Зменшення потужності складає:

$$n = \frac{Q_{\text{хол}_\text{бр}}}{Q_{\text{хол}_p}} \cdot 100\% = 41,72\%$$

Кількість вологи, яка виділяється при охолодженні повітря:

$$m_{\text{волога}} = V_{\text{пов}} \rho_{\text{пов}} (d_2 - d_3) = 2,7 \cdot 1,225 \cdot (8,55 - 1,6) \cdot 10^{-3} = 0,023 \text{ кг/с}$$

Приймаємо, схему з рециркуляцією повітря як основну для підбору компонентів установки та подальшої розробки.

Тоді, загальна холодильна потужність:

$$Q_{\text{хол}} = \sum Q + Q_{\text{хол}_p} = 169\,000 + 20\,000 = 189\,000 \text{ Вт}$$

										Арк.
										32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>КР 000.142.008.002.2022.РПЗ</i>					

7. Розрахунок параметрів компонентів установки

МХУОЗ – розробляється на базі компресорів Bitzer. Номінальна потужність холодильної установки складає 189 000 Вт.

В холодильну схему включаємо регенеративний теплообмінник (далі РТО) (див Схема.7.1) для підвищення ефективності холодильного циклу та захисту компресорів від гідравлічного удару. Проводимо розрахунок:

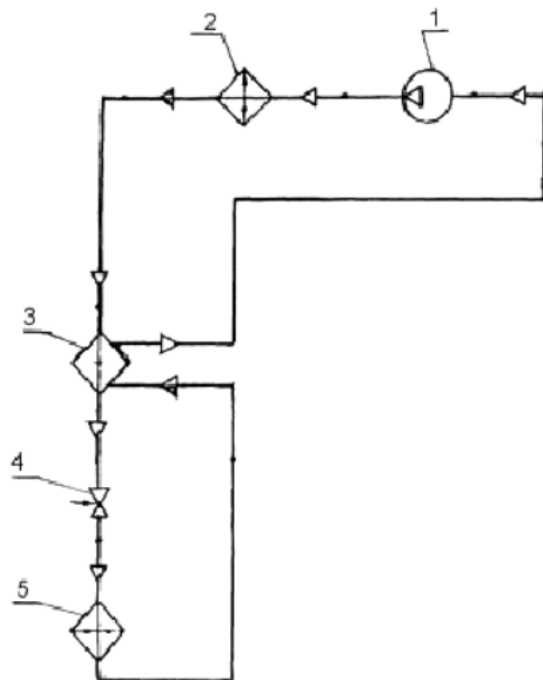
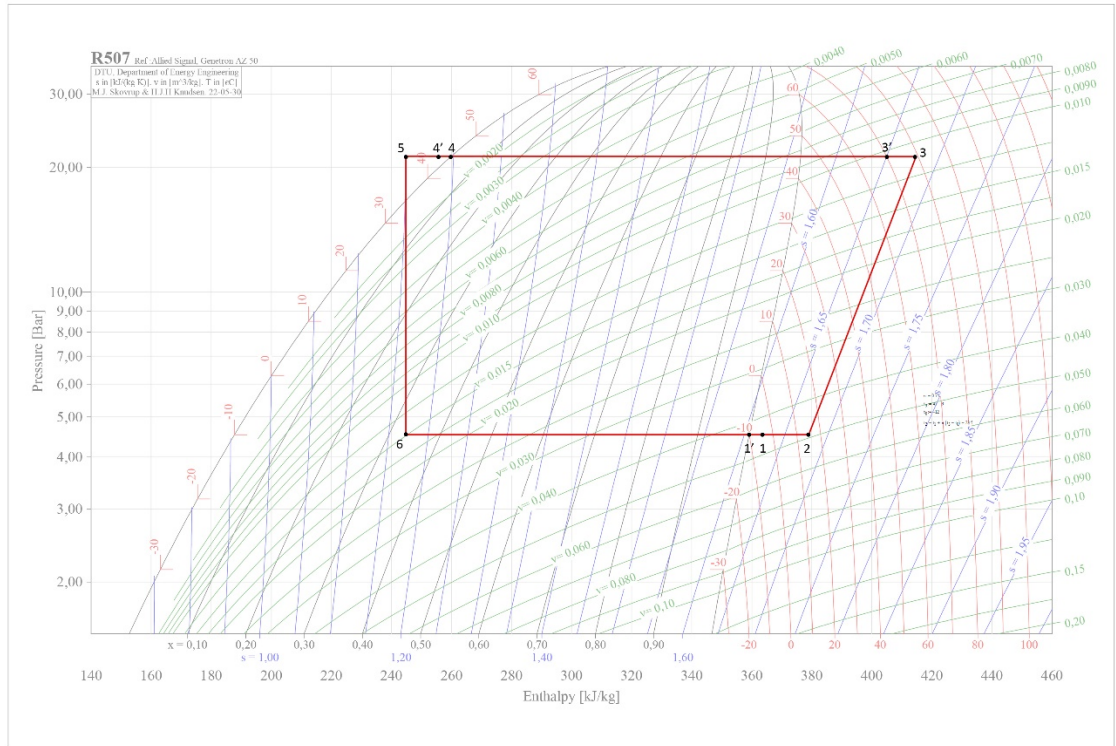


Схема 7.1 1 - Компресор, 2 - Конденсатор, 3 - Регенеративний теплообмінник, 4 - Регулюючий вентиль, 5 – Випарник

Відповідно до сучасних вимог приймаємо температуру конденсації – 45 °С

Перегрів парів, які виходить з випарника та у трубопроводі приймаємо рівними 5К. Будуємо холодильний цикл (Діаграма 7.1) за допомогою ПЗ CoolPack та визначаємо параметри (Таблиця 7.1) точок холодильного циклу.

					<i>КР 000.142.008.002.2022.РПЗ</i>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		<i>Д.М. Степаніцев</i>			Проект холодильної установки з обробки зернових культур холодом продуктивністю 600 т. на добу на базі Кононівського елеватору	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.							33	62
Реценз.						<i>ТЕХТ ННІТІ НУХТ</i>		
Н. контр.								
Затверд.		<i>М.О. Прядко</i>						



Діаграма 7.1 Холодильний цикл МХУОЗ

№	Температура, °C	Тиск, бар	Ентальпія, кДж/кг	Питомий об'єм, м ³ /кг
1'	-10	4,5	360	0,0428
1	-5	4,5	363	0,0444
2	20	4,5	382	0,04911
3	79	21,1	414,5	
4	45	21,1	260	
4'	43	21,1	256	

Таблиця 7.1 Параметри точок холодильного циклу

Температура точки всмоктування. Задаємо ККД РТО: 0,7

$$t_2 = t_1 + \eta(t_{4'} - t_0) = -5 + 0,7(43 - (-10)) = 20 \text{ °C}$$

Розраховуємо ентальпію для точки 5 з теплового балансу регенеративного теплообмінника:

$$h_5 = h_{4'} - (h_2 - h_1) = 260 - (378,9 - 363) = 236 \text{ кДж/кг}$$

Параметри точки 5,6

№	Температура, °C	Тиск, бар	Ентальпія, кДж/кг	Питомий об'єм, м ³ /кг
5	28	21,1	236	
6	-10	4,5	236	

Таблиця 7.2 Параметри точок холодильного циклу

Знаходимо ентальпію для точки 3' з теплового балансу підігрівника повітря за формулою:

$$m_x \cdot (h_3 - h_{3'}) = m_{\text{пов}} \cdot (h_6 - h_5)$$

Для цього спочатку визначаємо масову витрату холодоагенту у контурі m_{x_T}

Питома масова холодопродуктивність:

$$q_0 = h_{1'} - h_6 = 360 - 236 = 124 \text{ кДж/кг}$$

Масова теоретична витрата холодоагенту:

$$m_{x_T} = \frac{Q_0}{q_0} = \frac{189}{124} = 1,52 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Знаходимо ентальпію для точки 3':

$$h_{3'} = \frac{-m_{\text{пов}}(h_6 - h_5) + m_{x_T} \cdot h_3}{m_x} = \frac{-3,3 \cdot (12,9 - 11,9) + 1,52 \cdot 414,5}{1,52} = 411 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

№	Температура, °C	Тиск, бар	Ентальпія, кДж/кг	Питомий об'єм, м ³ /кг
3'	75,7	21,1	411	

Таблиця 7.3 Параметри точок холодильного циклу

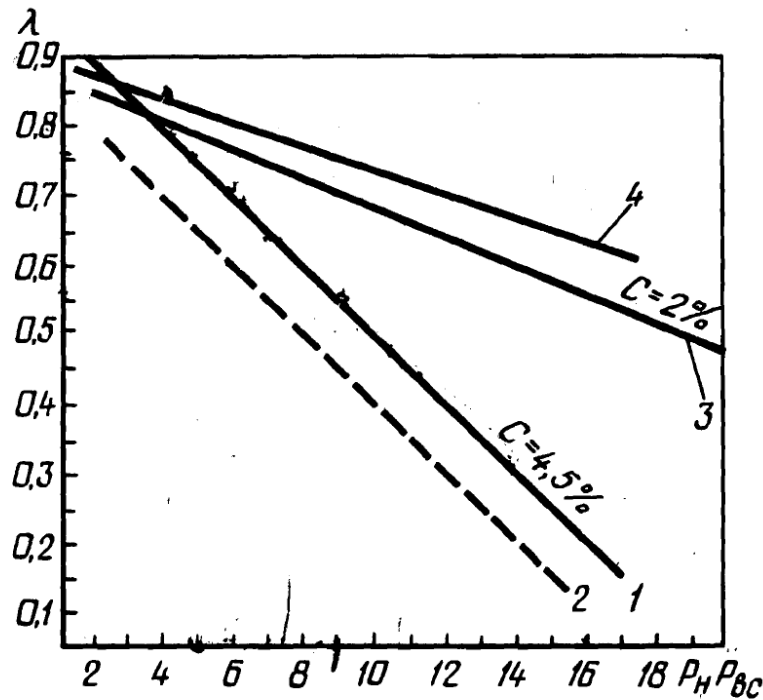


Рис.11.2. Коэффициенты подачи компрессоров:
1 и 3 — сальниковые компрессоры; 2 — бессальниковые поршневые; 4 — винтовые

Графік. 7.1 Коефіцієнт подачі поршневого компресору в залежності від $\frac{P_H}{P_{BC}}$

Визначаємо коефіцієнт подачі $\lambda_{\Pi} = 0,65$ поршневого компресору та визначаємо необхідну об'ємну продуктивність. Коефіцієнт подачі з графіку 7.1

$$v_{\text{теор}} = \frac{m_{x_{\text{T}}} \cdot v_2}{\lambda_{\Pi}} = \frac{1,52 \cdot 0,049}{0,65} = 0,11 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = 412 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

Питоме теплове навантаження на конденсатор:

$$q_k = h_{3'} - h_4 = 411 - 260 = 151 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Теоретичне теплове навантаження на конденсатор:

$$Q_{k_{\text{T}}} = m_{x_{\text{T}}} \cdot q_k = 1,52 \cdot 151 = 229,5 \text{ кВт}$$

Питоме теплове навантаження на РТО:

$$q_{\text{рто}} = h_{4'} - h_5$$

Теплове навантаження на РТО:

$$Q_{\text{рто}} = m_{x_{\text{T}}} \cdot q_{\text{рто}} = 1,52 \cdot (256 - 236) = 30,4 \text{ кВт}$$

Номінальна потужність випарника визначається за формулою 7.2:

$$Q_B = kF\Delta t, (7.2)$$

Де, F – Площа випарника, м²

k – коефіцієнт теплопередачі, Вт/м²·К

Δt – середньологарифмічна температура, °С

Коефіцієнт теплопередачі для випарника та (k = 20 ÷ 25 Вт/м²·К).
Визначаємо площу теплообмінної поверхні за допомогою формули 7.2.

Площа теплообмінної поверхні випарника:

$$F_{\text{в}} = \frac{Q_{\text{хол}}}{k \cdot \frac{t_{\text{п}} + t_{\text{к}}}{2}} = \frac{189\,000}{23 \cdot \frac{23 + (-2)}{2}} = 782 \text{ м}^2$$

Площа теплообмінної поверхні підігрівника (приймаємо k = 25 Вт/м²·К):

$$F_{\text{під}} = \frac{Q_{\text{під}}}{k \cdot (t_3 - \frac{t_5 + t_4}{2})}$$

$$Q_{\text{під}} = V_{\text{пов}} \rho_{\text{пов}} (h_5 - h_4) = 2,7 \cdot 1,225 \cdot (11,9 - 5,8) = 20,17 \text{ кВт}$$

$$F_{\text{під}} = \frac{20\,170}{25 \cdot (75 - \frac{-2 + 4}{2})} = 12 \text{ м}^2$$

Площа теплообмінної поверхні РТО (k = 230 ÷ 290 Вт/м²·К) [13]:

$$F_{\text{рто}} = \frac{Q_{\text{рто}}}{k \cdot (t_{\text{ср.р}} - t_{\text{ср.п}})} = \frac{18\,000}{250 \cdot (\frac{-5 + 15}{2} - \frac{45 + 35}{2})} = 2,2 \text{ м}^2$$

Де, t_{ср.р} – середня арифметична температура рідкої фази, °С

t_{ср.п} – середня арифметична температура пароподібного холодоагенту, °С

Площа теплообмінної поверхні конденсатору (приймаємо k = 25 Вт/м²·К,
Δt = 12К):

$$F_{\text{кон}} = \frac{Q_{\text{к-т}}}{k \cdot \Delta t} = \frac{229\,500}{25 \cdot 12} \approx 765 \text{ м}^2$$

									Арк.
									37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КР 000.142.008.002.2022.РПЗ				

Розрахунок діаметру трубопроводу холодоагенту:

$$d = \sqrt{\frac{4M_x}{\pi\rho\omega}}$$

Де,

ρ – щільність холодоагенту, кг

ω – швидкість холодоагенту (довідкове значення табл.7.4), м/с

Лінія	Швидкість, м/с
Всмоктування	8 – 12
Нагнітання	10 – 18
Рідинна	1 – 1,25

Таблиця 7.4 Номінальна рекомендована швидкість у трубопроводі

$$d_{\text{вс}} = \sqrt{\frac{4M_x}{\pi \frac{1}{\nu} \omega}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,6}{3,14 \cdot \frac{1}{0,049} \cdot 8,5}} = 108 \text{ мм}$$

$$d_{\text{наг}} = \sqrt{\frac{4M_x}{\pi \frac{1}{\nu} \omega}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,6}{3,14 \cdot \frac{1}{0,01} \cdot 11,5}} = 42 \text{ мм}$$

$$d_{\text{рід}} = \sqrt{\frac{4M_x}{\pi \frac{1}{\nu} \omega}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,6}{3,14 \cdot \frac{1}{0,001} \cdot 2}} = 35 \text{ мм}$$

Визначаємо діаметр повітряного каналу для під'єднання до силосу з рівняння швидкості. Швидкість приймаємо 8 м/с:

$$\omega = \frac{v_n}{\frac{\pi D^2}{4}}$$

Тоді, $D = 650$ мм

Параметри вентилятору. Гідравлічний опір вентилятору складається з:

$$\sum p = p_{\text{в}} + p_{\text{з}}$$

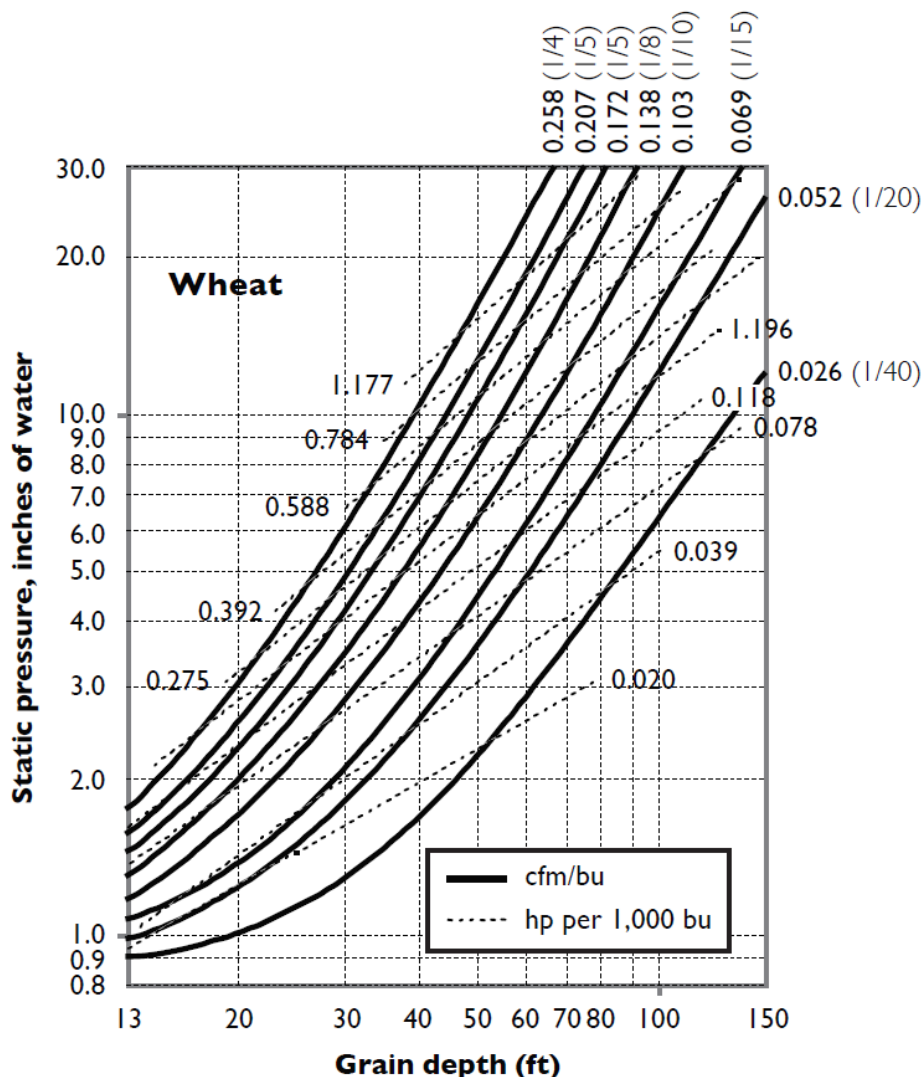
Де, $p_{\text{в}}$ гідравлічний опір по висоті каналу, Па

$p_{\text{з}}$ – гідравлічний опір зернового шару висотою 20 м, Па

					<i>КР 000.142.008.002.2022.РПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

p_v - гідравлічний опір по висоті силосу, Па

Для визначення у падіння повітря у насипі зерна, використовують відповідні діаграми (див. діаграма 7.2)



Діаграма 7.2 Залежність падіння тиску повітряного потоку від висоти насипу зерна

Рекомендаційний перепад тиску для нашого тиску, з урахування втрат у вентиляційних канал та на висоту зернового шару складає: $\Delta p = 3900$ Па. Номінальна витрата вентилятору повинна складати: $Q = 9720$ м³/год.

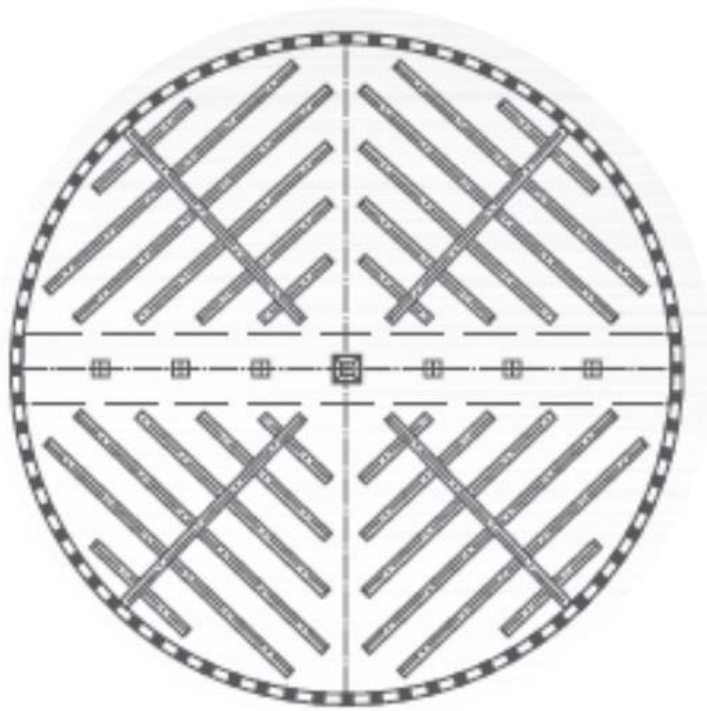


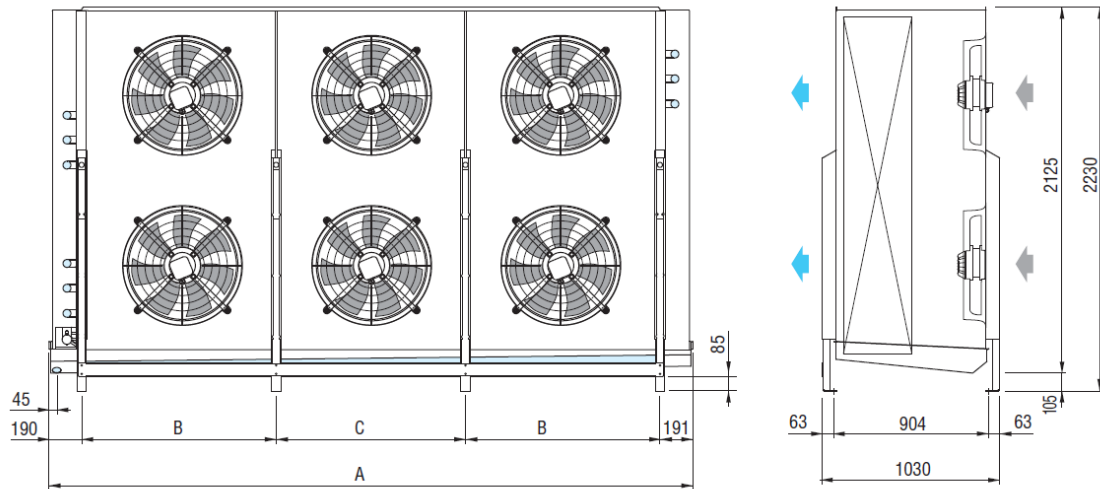
Рис.7.1 Розташування повітророзподільних каналів у силосі

8. Вибір компонентів установки

8.1 Теплообмінники

8.1.1 Випарник

Виконую умовний вибір випарника ECO, за визначеними параметрами $Q_{\text{хол}} = 189$ кВт. Для реальної конструкції МХОУЗ необхідно індивідуальне замовлення випарника каналного типу. Теплообмінна площа випарника – 782 м². Тоді необхідно 2 шт. SRE 85B07.



Model	Modell	Модель	SRE	84A07	85A07	85B07
Capacity	Leistung	Производительность	kW	66,8	73	86
Air flow	Luftmenge	Расход воздуха	m ³ /h	59800	70490	65645
Air speed	Luftgeschwindigkeit	Скорость воздуха	m/s	3,1	3,66	3,41
Added pressure	Zusatzdruck	Внешнее давление	Pa	50	70	70
Internal surface	Innenoberfläche	Внутренняя поверхность	m ²	53,84	53,84	71,79
External surface	Außenoberfläche	Наружная поверхность	m ²	298	298	397
Fan motors	Motorventilatoren	Двигатели вентиляторов	n° x Ø mm	8 x 500	8 x 560	8 x 560
Fan mot. absorp.	Stromaufnahme Mot.	Потребляемый ток вентиляторов	A	14	17,6	17,6
Nominal power	Nennleistung	Номинальная производительность	kW	6,88	10	10
Circuit capacity	Rohrinhalt	Вместимость контура	dm ³	104	104	139
Electric defrost	Elek. Abtauung	Электроотаивание	W	43200	43800	53700
Drain connection	Tauwasserabfluß	Слив	Ø (GAS)	2	2	2
1) Net weight	Nettogewicht	Масса	kg	732	764	870

Рис. 8.1.1 Схема та характеристики повітроохолоджувача ECO SRE 85B07.

8.1.2 Регенеративний теплообмінник

З каталогу компанії The Packless за номінальною попередньо розрахованою потужністю $Q_{\text{РТО}} = 30,4$ кВт. Виконую підбір теплообмінника. Основні характеристики наведені у таблиці 8.1.

					<i>КР 000.142.008.002.2022.РПЗ</i>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	<i>Д.М. Степаніцев</i>				Проект холодильної установки з обробки зернових культур холодом продуктивністю 600 т. на добу на базі Кононівського елеватору	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.							41	62
Реценз.						<i>ТЕХТ ННІТІ НУХТ</i>		
Н. контр.								
Затверд.	<i>М.О. Прядко</i>							

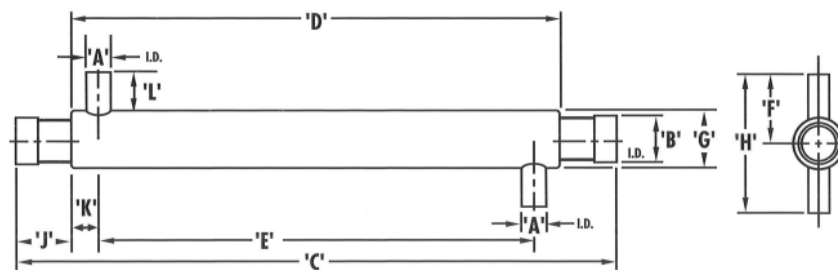


Рис.8.1.2 Регенеративний теплообмінник The Packless LHXR-50

Модель	LHXR-50
Потужність, кВт	35
Матеріал	Нержавіюча сталь
Під'єднання	Мідь
Максимальний робочий тиск, бар	21
Максимальний тиск, бар	101

Таблиця 8.1.1 Характеристики регенеративного теплообмінника LHXR-50

8.1.3 Вибір повітряного конденсатору

За допомогою ПЗ GPC.EU 2020 від компанії GUNTNER виконую підбір конденсатору. Теоретичне теплове навантаження на конденсатор складає $Q_{к_Т} = 229,5$ кВт, визначена теплообмінна площа – $Q_{к_Т} = 765$ м². Реальне площа конденсатору GCHV RD 090.2QF/13A-56 складає близько $\sim 792,3$ м²



Дата: 2022-06-02
 Запрос от:
 Проект:
 № предложения:
 Позиция:
 Контактное лицо:



Конденсатор GCHV RD 090.2QF/13A-56

Мощность:	230.0 kW	Хладагент:	R404A ⁽¹⁾
Объемн. расход возд.:	69378 m ³ /h	Т горячего газа:	75.0 °C
Воздух на входе:	32.0 °C	Темп. конденсации (точка росы):	46.0 °C
Высота над ур. моря:	0 m	Т выхода конденсата:	43.9 °C
Скорость воздуха:	2.1 m/s	Об. расход гор. Газы:	49.29 m ³ /h
К теплопередачи:	26.05 W/(m ² ·K)	Массовый расход:	5361 kg/h
		Потери давления:	0.39 bar / 0.79 K
Вентиляторы (АС):	3 Шт. 3~400V 50HzΔ(Y)	Уровень звукового давления:	56 dB(A) ⁽²⁾
Технические характеристики вент. узла:		на расстоянии:	10.0 m
Скор. вращ.:	840 min ⁻¹ / (630 min ⁻¹)	Уровень звуковой мощности:	88 dB(A)
Мощность (эл.):	1.85 kW	ErP:	Compliant ⁽³⁾
Потребл. ток:	3.80 A ⁽⁴⁾		
Общее потребл. эл. энергии:	4.48 kW	класс энергетич. эффективности:	D (2014)
Корпус:	Оцинк. сталь, RAL 7035	Трубы:	Медь ⁽⁵⁾
Площадь пов-ти:	792.3 m ²	Оребрение:	Алюминий ⁽⁵⁾
Объем труб:	61.71	Подключения (на один аппарат):	
Шаг оребрения:	2.40 mm	Вход:	42.0 * 1.80 mm
Нходов:	4	Выход:	64.0 * 2.80 mm
Вес (пустой):	819 kg ⁽⁶⁾	Распределители:	44
Макс. рабочее давление:	32.0 bar	PED classification:	Категория I, module A ⁽⁷⁾
Размеры: ⁽⁶⁾			
Длина:	4440 mm		
Ширина:	2241 mm		
Высота:	1452 mm ⁽⁶⁾		
Кол-во ножек:	4		

Страница 1 из 2 · МТО · GCHV RD 090.2QF/13A-56-010U.2BWM/01K

UI: 141.010U.2BW.06G.***.M

Прайс-лист (на условиях EXW):

Шт. Стоимость: Всего:

Стоимость аппарата:

1 11407.00 EUR

11407.00 EUR

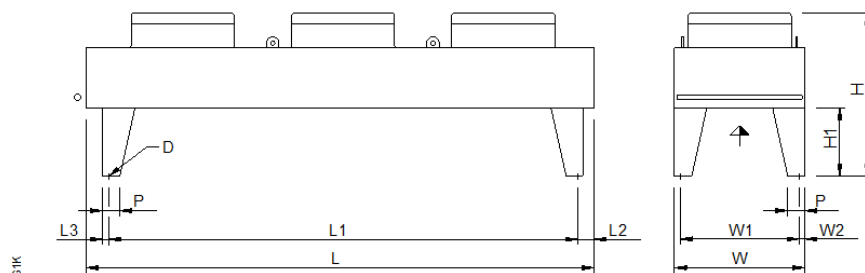
Всего (прайс-лист без НДС, включ. упаковку)

11407.00 EUR



GCHV RD 090.2QF/13A-56

Проект:
 № предложения:
 Позиция:
 Контактное лицо:



File: BMP\FatVario_1x3_04f_UNI.emf

L = 4440 mm	W = 2241 mm	H = 1452 mm
H1 = 600 mm	L1 = 4100 mm	L2 = 197 mm
L3 = 52 mm	P = 150 mm	W1 = 2137 mm
W2 = 52 mm	D = 17 mm	

Внимание: схема и размеры распространяются не на все комплектующие!

GCHV RD 090.2QF/13A-56-010U.2BWM/01K

Рис. 8.1.3 Схема та характеристики конденсатору GCHV RD 090.2QF/13A-

										Арк.
										43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КР 000.142.008.002.2022.ПІЗ					

8.1.3 Вибір підігрівника повітря

За визначеними параметрами підігрівника у розділі 7, обираю теплообмінника від виробника SPECIALE MOD-L-CO-390-525-4R-2.1mm (див рис.8.9). Площа теплообміну 13,5 м².

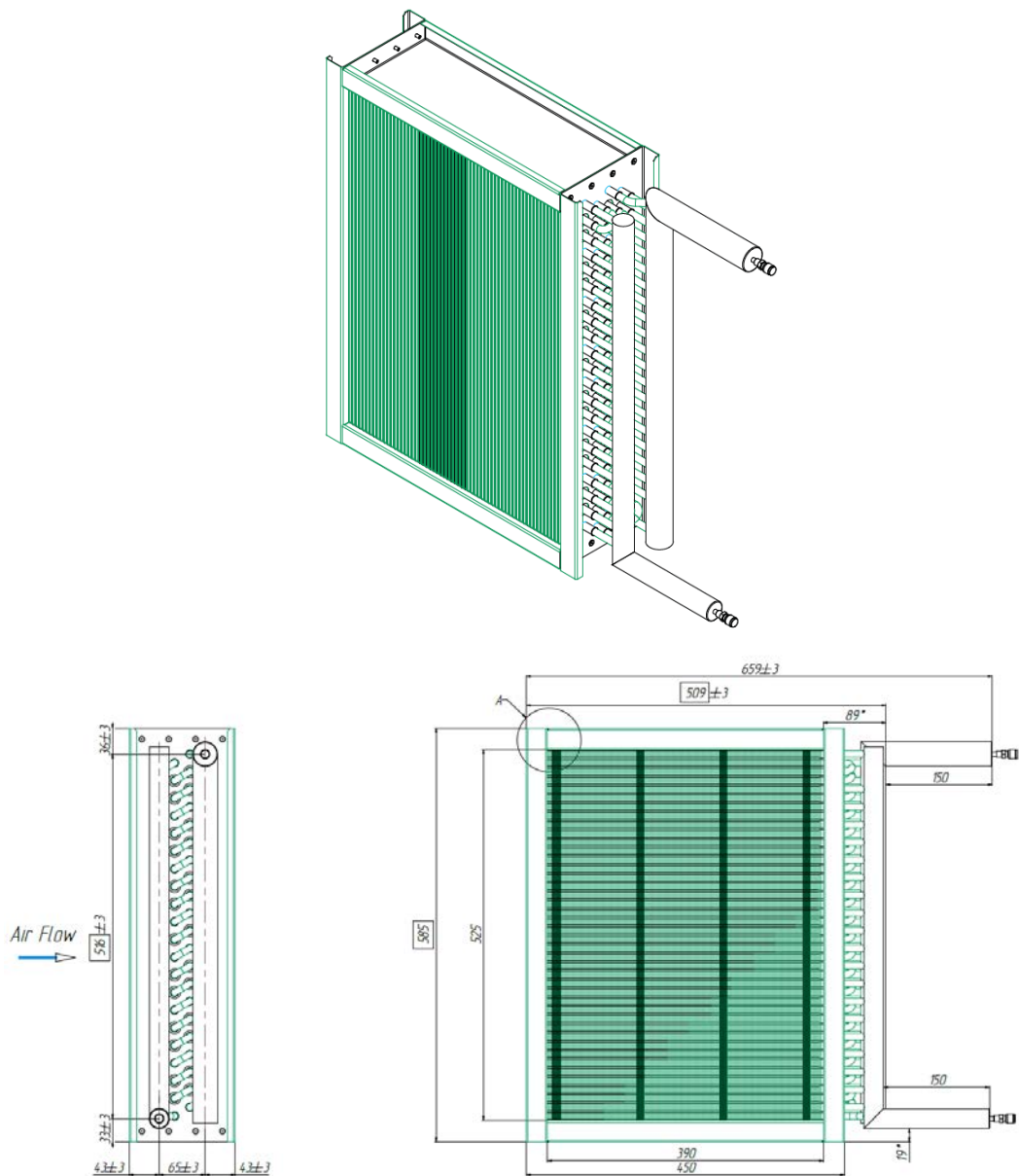


Рис. 8.1.4 Габаритні розміри теплообмінника SPECIALE MOD-L-CO-390-525-4R-2.1mm

8.3 Вибір запірно-регулювальної арматури

8.3.1 Електронний розширювальний вентиль

Обираю електронний розширювальний вентиль за допомогою ПЗ Danfoss CoolSelector 2. Із запропонованих обираю ICS 100 + EVM. (див. Рис. 8.3.1)

Вибір: ICS 40 + EVM



Тип	ICS 25-25 + EVM	ICS 32 + EVM	ICS 40 + EVM	ICS 50 + EVM	ICS 65 + EVM
NS	25	32	40	50	65
Kv [m ³ /h]	11,5	17	27	44	70
DP_100 [bar]	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200

DP_мін. [bar]	0,115	0,114	0,112	0,112	0,119
Kv_розр [m ³ /h]	11,5	12,96	14,25	15,02	15,47
Перепад тиску [bar]	0,219	0,173	0,143	0,129	0,121
DT_нагч. [K]	0,6	0,5	0,4	0,3	0,3
Ступінь відкриття [%]	100	71	45	27	17
Навантаження [%]	105	71	45	27	17
Можливе часткове навантаження [%]	14	21	34	55	89
Швидкість на вході [m/s]	2,30	1,35	1,01	0,63	0,38
Статус клапана	Відкритий	Частково відкритий	Частково відкритий	Частково відкритий	Частково відкритий

Кодовий номер для ICS 40 + EVM

Крива продуктивності

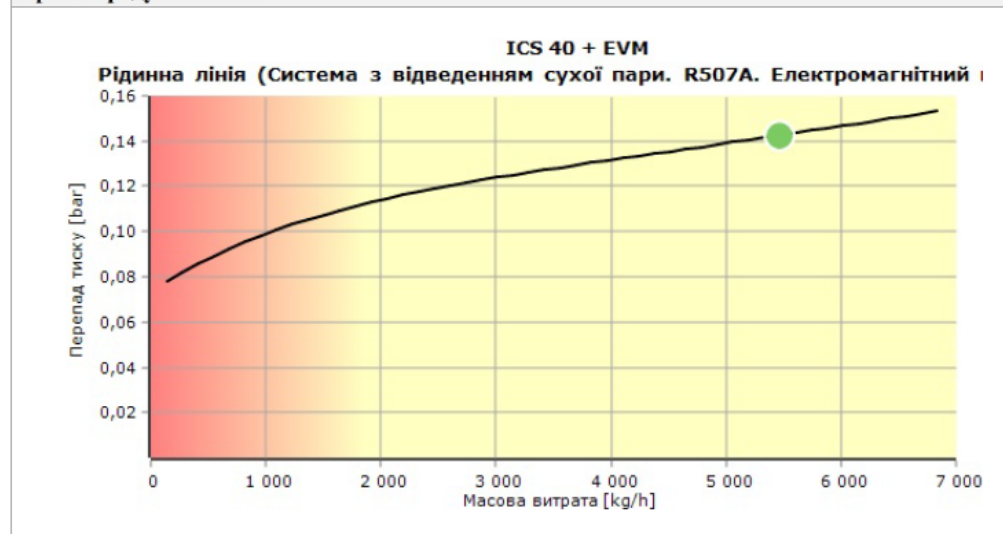


Рис.8.3.1 Результати підбору електронного розширювального клапану ICS 100 + EVM.

8.3.2 Вибір запірних вентилів

Запірні вентиля для рідинної лінії GBC 35s v2 (Рис. 8.3.2), запірний вентиль на всмоктування

Вибір: GBC 35s v2



Тип	GBC 22s v2	GBC 28s v2	GBC 35s v2	GBC 42s v2	GBC 54s v2
NS	22	28	35	42	54
Kv [m ³ /h]	33,34	62,25	92,76	134,8	240,1
Перепад тиску [bar]	0,030	0,008	0,004	0,002	0,001
DT_насич. [K]	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Швидкість на вході [m/s]	5,57	3,22	1,96	1,39	0,81
Статус клапана	Відкритий	Відкритий	Відкритий	Відкритий	Відкритий

Кодовий номер для GBC 35s v2

Крива продуктивності

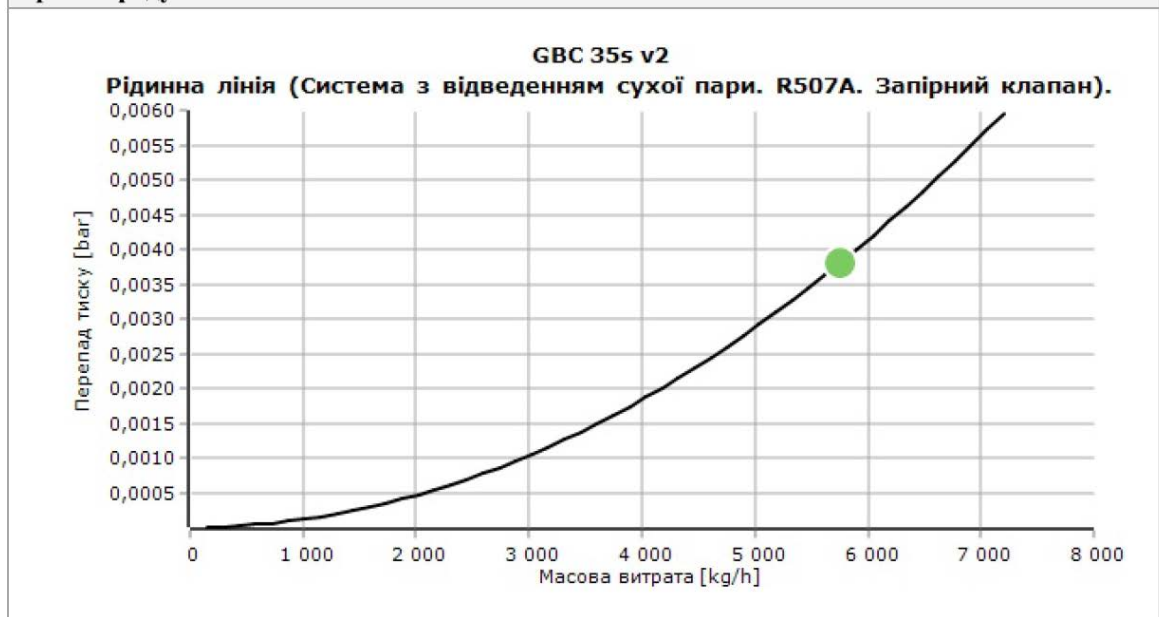


Рис. 8.3.2 Результати підбору запірного вентиля GBC 35s v2 для рідинної лінії

Вибір: SVA SS 100 angle



Тип	SVA SS 65 angle	SVA SS 80 angle	SVA SS 100 angle	SVA SS 125 angle
NS	65	80	100	125
Kv [m ³ /h]	120	182	313	514
Перепад тиску [bar]	0,096	0,041	0,014	0,005
DT_насич. [K]	0,6	0,3	0,1	0,0
Швидкість на вході [m/s]	17,48	12,70	7,53	4,98
Статус клапана	Відкритий	Відкритий	Відкритий	Відкритий

Рис. 8.3.2 Результати підбору запірною вентиляю на всмоктування SVA SS 100 angle

Вентилі для нагнітаючої сторони будуть встановлені на компресорі та на ресивері типу RotaLock. Тому необхідності в додатковій запірній арматурі немає.

8.4 Вибір фільтрів

Фільтр осушувач вологи DCR 14413-DC, встановлюється на рідинну лінію.

Вибір: DCR 14413-DC



Тип	DCR 1449-DC	DCR 14411-DC	DCR 14413-DC	DCR 14417-DC	DCR 19211-DC
NS	25	32	40	50	32
Cores	3	3	3	3	4
Kv [m ³ /h]	19,7	31	31	31	32,4
Перепад тиску [bar]	0,085	0,034	0,034	0,034	0,031
DT_насич. [K]	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
Швидкість на вході [m/s]	2,48	1,45	1,08	0,68	1,45
Осушувальна здатність при 24,0 °C [kg]	204,9	204,9	204,9	204,9	273,2
Осушувальна здатність при 52,0 °C [kg]	184,3	184,3	184,3	184,3	245,7
Заправка [kg]	3,626	3,626	3,626	3,626	4,67

Крива продуктивності

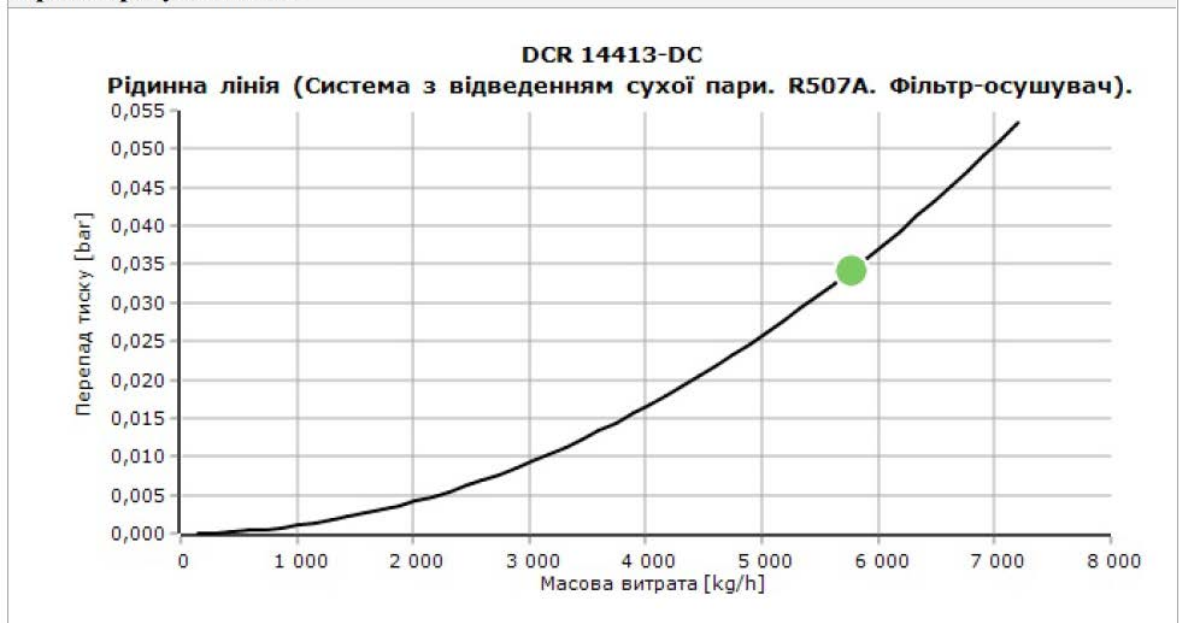


Рис. 8.4.1 Результати підбору фільтру осушувачу вологи DCR 14413-DC для рідинної лінії

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КР 000.142.008.002.2022.РПЗ

Арк.

49

На всмоктування для захисту компресорів від шламу встановлюємо сітчастий фільтр FIA-100-150 straight-p

Вибір: FIA 100-150 straight-p



Тип	FIA 80-250 straight-p	FIA 80-500 straight-p	FIA 100-150 straight-p	FIA 100-250 straight-p	FIA 100-500 straight-p
NS	80	80	100	100	100
Kv [m ³ /h]	108	113	162	167	176
Перепад тиску [bar]	0,138	0,125	0,060	0,056	0,051
DT_насич. [K]	0,9	0,8	0,4	0,4	0,3
Швидкість на вході [m/s]	13,88	13,88	8,24	8,24	8,24

Крива продуктивності

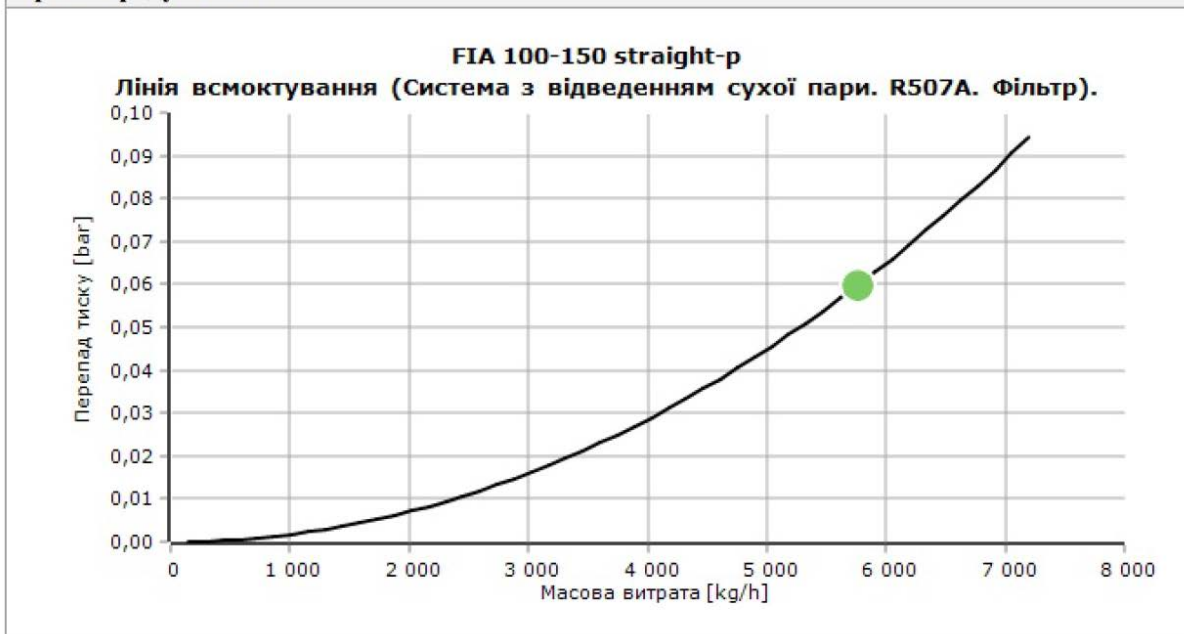


Рис.8.4.2 Результати підбору фільтру осушувачу вологи DCR 14413-DC для рідинної лінії

8.5 Зворотній клапан

Для попередження пуску компресору «під тиском» встановлюємо після кожного компресору на лінії нагнітання зворотній клапан. Діаметр клапана відповідає діаметру патрубку, який виходить з компресору

Вибір: NRVH 28



Тип	NRVH 19 v2	NRVH 22	NRVH 28	NRVH 35
NS	18	22	28	35
Kv [m ³ /h]	6,5	8,5	16,5	29
DP_100 [bar]	0,240	0,300	0,300	0,300
DP_мін. [bar]	0,165	0,280	0,280	0,280
Kv_розр [m ³ /h]	6,5	8,5	16,5	29
Перепад тиску [bar]	10,57	10,57	1,424	0,432
DT_насих. [K]	27,6	27,6	3,0	0,9
Ступінь відкриття [%]	-	-	-	-
Навантаження [%]	595	408	210	120
Можливе часткове навантаження [%]	2	5	10	17
Швидкість на вході [m/s]	96,37	60,06	34,69	21,17

Рис.8.5.1 Результати підбору зворотнього клапану для лінії нагнітання NRVH 28

8.6 Вибір оглядового скельця для рідинної лінії

Обираю оглядове скло SGS 1 5/8 (для впайки). Встановлюємо на рідинній лінії, для контролю системи.

Вибір: SGS 1 5/8



Тип	SGS 1 1/8	SGS 1 3/8	SGS 1 5/8	SGS 2 1/8	SGS 3 1/8
NS	28,58	34,93	41,28	53,98	79,38
Kv [m ³ /h]	34	63	103	192	480

Перепад тиску [bar]	0,028	0,008	0,003	0,001	0,000
DT_пасич. [K]	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Швидкість на вході [m/s]	2,97	1,95	1,34	0,79	0,36

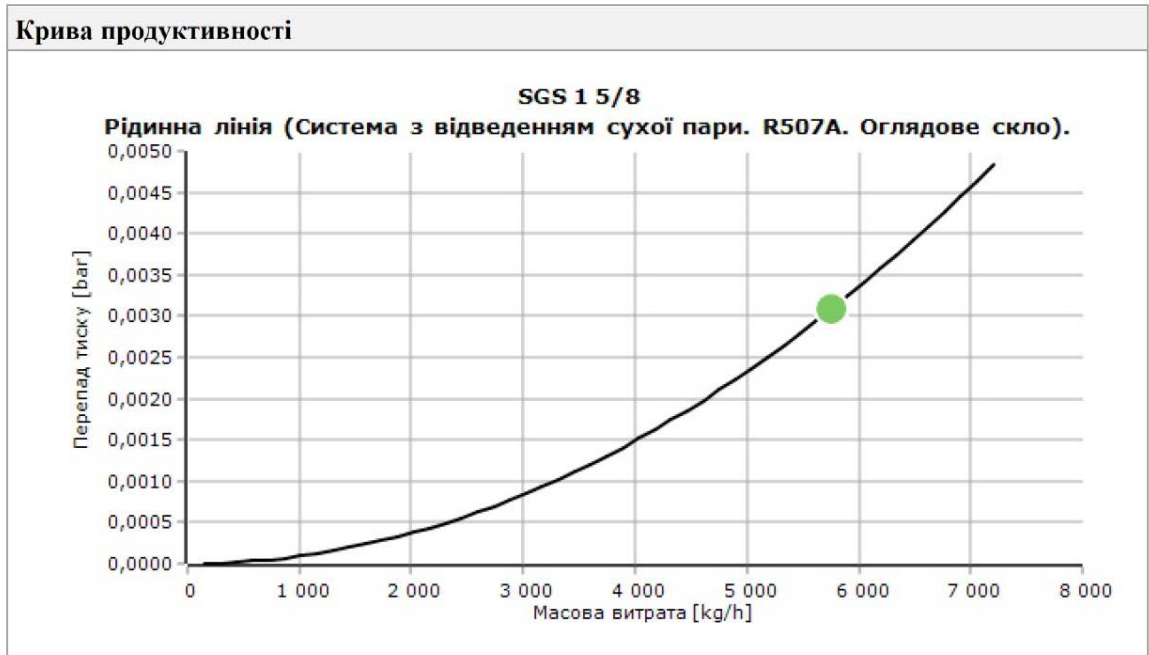


Рис.8.6.1 Результати підбору оглядове скла SGS 1 5/8

8.7 Система змащування

8.7.1 Мастиловіддільник

Підбираємо (див табл. 8.7.1) мастиловіддільник від компанії Alco Controls за діаметром нагнітаючого колектору $d_{\text{наг}} = 42$ мм. Мастиловіддільник Alco Controls OSH-642

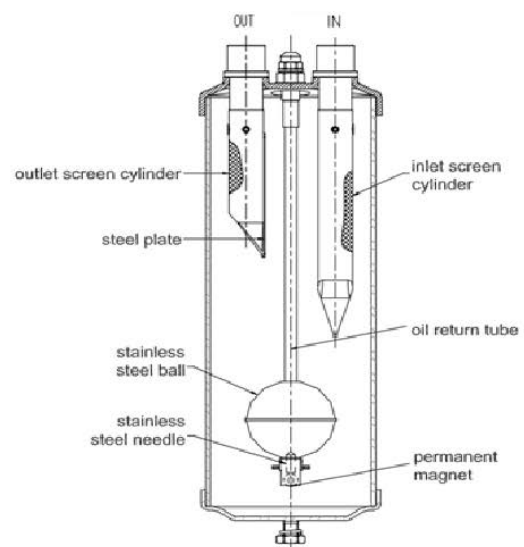


Рис. 8.7.1 Фото та схематичне зображення конструкції мастиловіддільника

Модель	№ для заказа	Соединение		Оценка соответствия Категория	Оценка соответствия Процедура	Номинальная производительность (кВт)								Объем, л.
		(мм)	(дюймы)			R22/R407C	R134A	R404A/R507	R448A	449A	R1234ze	450A	513A	
OSH-404	881 598		1/2"	Cat. I	Модуль А*	7,0	4,9	7,3	7,4	7,9	3,9	4,6	4,7	2,0
OSH-405	881 599	16	5/8"			18,7	13,1	19,4	18,8	20,1	9,9	11,7	12,1	2,4
OSH-407	881 600	22	7/8"			28,1	19,7	29,0	29,9	32,1	15,8	18,6	19,2	2,8
OSH-409	881 792		1 1/8"			37,4	26,2	38,7	40,9	43,9	21,6	25,4	26,3	3,0
OSH-411	881 794	35	1 3/8"			46,8	32,8	48,4	49,3	52,9	26,0	30,7	31,7	3,6
OSH-413	881 856		1 5/8"			65,5	45,9	67,8	68,7	73,6	36,2	42,7	44,1	3,6
OSH-611	881 940	35	1 3/8"	Cat. II	Модуль D1	51,5	36,1	53,3	60,6	65,0	32,0	37,7	38,9	6,5
OSH-613	881 953		1 5/8"			65,5	45,9	67,8	71,7	76,8	37,8	44,5	46,0	7,9
OSH-642	889 022	42				65,5	45,9	67,8	-	-	-	-	-	7,9
OSH-617	881 970	54	2 1/8"			105,3	73,8	108,9	108,7	116,5	57,4	67,5	69,8	7,9
OST-404	881 860		1/2"	Cat. I	Модуль А*	7,0	4,9	7,3	7,4	7,9	3,9	4,6	4,7	1,8
OST-405	881 861	16	5/8"			18,7	13,1	19,4	18,8	20,1	9,9	11,7	12,1	2,6
OST-407	881 862	22	7/8"			28,1	19,7	29,0	29,9	32,1	15,8	18,6	19,2	3,2
OST-409	881 863		1 1/8"			37,4	26,2	38,7	40,9	43,9	21,6	25,4	26,3	3,8
OST-411	881 938	35	1 3/8"			46,8	32,8	48,4	49,3	52,9	26,0	30,7	31,7	3,8
OST-413	881 939		1 5/8"			65,5	45,9	67,8	68,7	73,6	36,2	42,7	44,1	3,8
OSB-613	881 971		1 5/8"	Cat. II	Модуль D1	65,5	45,9	67,8	71,7	76,8	37,8	44,5	46,0	7,8
OSB-617	881 972	54	2 1/8"			105,3	73,8	108,9	108,7	116,5	57,4	67,5	69,8	7,8

Табл. 8.7.1 Модельний ряд мастиловіддільників Alco Controls

8.7.2 Масляний фільтр

Фільтр для масляної лінії. Діаметр трубки для масляної лінії приймаємо $d_m = 10$ мм. З каталогу (див. табл) обираю масляний фільтр 4520/M10



Рис. 8.7.2 Фото та схематичне зображення конструкції масляного фільтру

TABLE 54: General characteristics of strainers															
Catalogue Number	Filtering Surface [cm ²]	Useful Passage Surface [%]	Mesh Opening [mm]	Connections				Kv Factor [m ³ /h]	PS [bar]	TS [°C]		TA [°C]		Risk Category according to PED Recast	
				SAE Flare	ODS		ODM			min.	max.	min.	max.		
					Ø [in.]	Ø [mm]	Ø [in.]								Ø [mm]
4510/3	58	36,6	0,166	3/8"	-	-	-	-	2,4	45	-40	+80	-20	+50	Art. 4.3
4510/4	142			1/2"	-	-	-	-	3,2						
4520/2	58			-	1/4"	-	3/8"	-	2,4						
4520/3				-	3/8"	-	1/2"	-							
4520/M10				-	-	10	-	12							
4520/M12				-	-	12	-	14							
4520/4				-	1/2"	-	5/8"	16							
4520/5				-	5/8"	16	3/4"	-							
4520/M18				142	-	-	18	-	22						

Табл. 8.7.2 Модельний ряд масляних фільтрів Castel

8.7.3 Масляний ресивер

Масляний ресивер обираємо за об'ємом масляного картеру компресорів. Об'єм заправки компресору 6FE-50Y-40P складає – 4,75 л (відповідно до Табл.8.2). Тоді, необхідний об'єм масляного ресиверу:

$$V_{\text{мр}} = n_{\text{ком}} \cdot 4,75 = 3 \cdot 4,75 = 14,25 \text{ л}$$

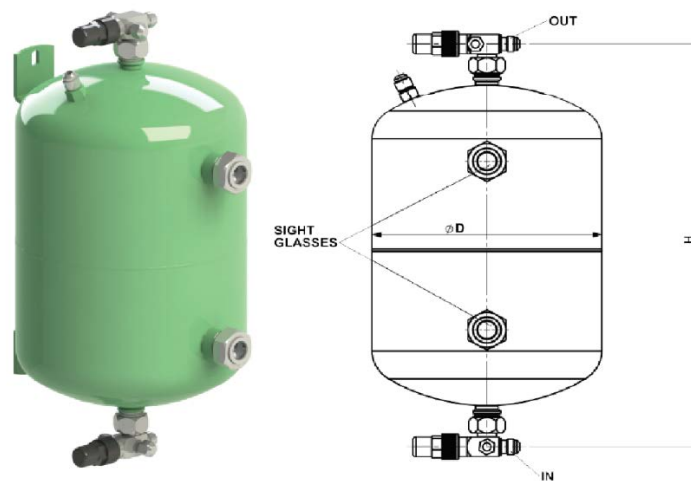


Рис. 8.7.3 Фото та схематичне зображення конструкції масляного ресиверу

TECHNICAL DATA									
Code	Type	Draw.	V	φ D	H	Connections			
						Inlet	Outlet	Sight Glass	Oil Check Valve
Y02-0040	YRC-S 4	figa	4	152	346	RV 3/8" SAE		2 pcs штык	3/8" SAE
Y02-0060	YRC-S 6		6	168	360				
Y02-0080	YRC-S 8		8	195	393				
Y02-0100	YRC-S 10		10	219	415				
Y02-0125	YRC-S 12,5		12,5	219	485				
Y02-0150	YRC-S 15		15	250	450				
Y02-0200	YRC-S 20		20	250	513				
Y02-0300	YRC 30		30	219	990				

Табл. 8.7.3 Модельний ряд масляних ресиверів RefriComp

Згідно каталогу обираю модель YO2-0150 (15 л.) з двома оглядовими скельцями.

8.7.4 Оглядове скло для масляної лінії

За діаметром трубки масляної лінії підбираю відповідне скельце, а саме – 3840/M10

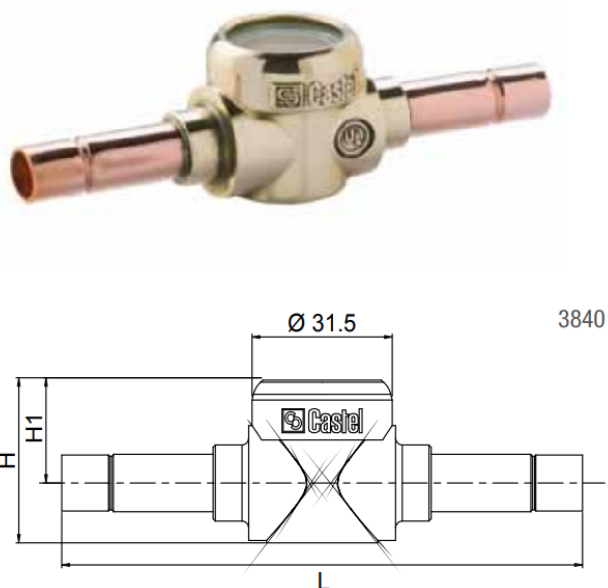


Рис. 8.7.4 Фото та схематичне зображення конструкції оглядового скельця для масляної лінії

Catalogue Number	Type	Connections				PS [bar]	TS [°C]		TA [°C]		Risk Category according to PED Recast	
		SAE Flare	ODS		for pipe		min.	max.	min.	max.		
			Ø [in.]	Ø [mm.]	Ø [in.]							Ø [mm.]
3810/22	male male	1/4"	–	–	–	–	–	–	–	Art. 3.3		
3810/33		3/8"	–	–								
3810/44		1/2"	–	–								
3840/2	brazing	–	1/4"	–	45	–30	+110	–20	+50			
3840/3		–	3/8"	–								
3840/M10		–	–	10								
3840/M12		–	–	12								
3840/4		–	1/2"	–								
3680/7	saddle type	–	–	–	7/8"	22	–	–	–		excluded	
3680/9					1.1/8"	28						
3680/11					1.3/8"	35						

Табл. 8.7.4 Модельний ряд оглядових скельць для масляних ліній Castrol

8.7.5 Електронний регулятор рівня мастила у компресорах

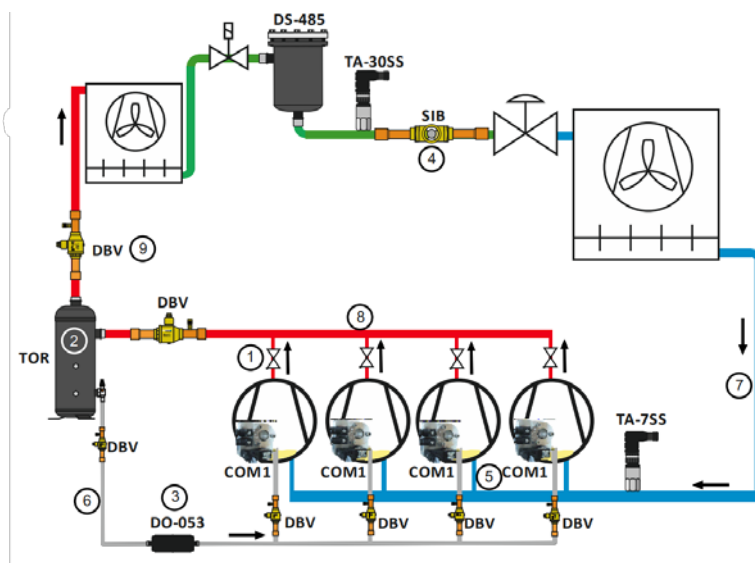
На кожен компресор встановлюємо електронні регулятори рівню мастила. В регулятори вбудовані «поплавки», які контролюють рівень мастила. У випадку, коли рівень мастила в картері компресору знижується «поплавок» опускається та замикає контакт. Регулятор відкриває клапан та підкачує необхідну кількість мастила. Схема підключення регуляторів зображена на схемі 2.2. Для нашої системи обираю DEKA COM1-230. З живленням 230 В



Рис. 8.7.4 Фото електронного регулятора рівня мастила у компресорах
Адаптер для підключення до компресорів серії 6G COM-AD-000.

Selection of COM1 (60 bar)

Manufacturer	Model	Type of Adapter
Bitzer	4VC, 4TC, 4PC, 4NC, 4J, 4H, 4G, 6J, 6H, 6G, 6F, 8GC, 8FC, 4VHC-10K, 4THC-12K, 4PHC-15K, 4NHC-20K, 4VSL-15K...4NSL-30K Ecoline: 4VES-7Y...4NES-20(Y), 4VE-7Y...4NE-20(Y), 4JE-13Y...4FE-35(Y)	COM-AD-000
	2KC, 2JC, 2HC, 2GC, 2FC, 2EC, 2DC, 2CC, 4FC, 4EC, 4DC, 4CC2KHC, 2JHC, 2HHC, 2GHC, 2FHC, 2EHC, 2DHC, 2CHC, 4FHC, 4EHC, 4DHC, 4CHC, 2MSL-07K...4CSL-12K Ecoline: 2KES-05(Y)...2FES-3(Y), 2EES-2(Y)...2CES-4(Y), 4FES-3(Y)...4CES-9(Y)	COM-AD-118-18 (P/N 12005)



[13] Рис.8.12 Схема підключення у холодильній установці регуляторів мастила 1- Зворотні клапани, 2 - Мастиловіддільник 3 - Масляний фільтр,

4 - Оглядове скло, 5 - Електронний регулятор рівня мастила, 6 - Масляна лінія, 7 - Всмоктувальна лінія, 8 - Лінія нагнітання.

8.8 Лінійний ресивер

Необхідний об'єм лінійного ресиверу визначається, як:

$$V_p = 0,6 \cdot V_{\text{вип}} = 0,6 \cdot (139 \cdot 2) = 166,8 \text{ л}$$

Де, $V_{\text{вип}}$ – об'єм випарника, л

Найближча модель (див. табл 8.8.2) Bitzer FS1602 (номінальним об'ємом 160 л)

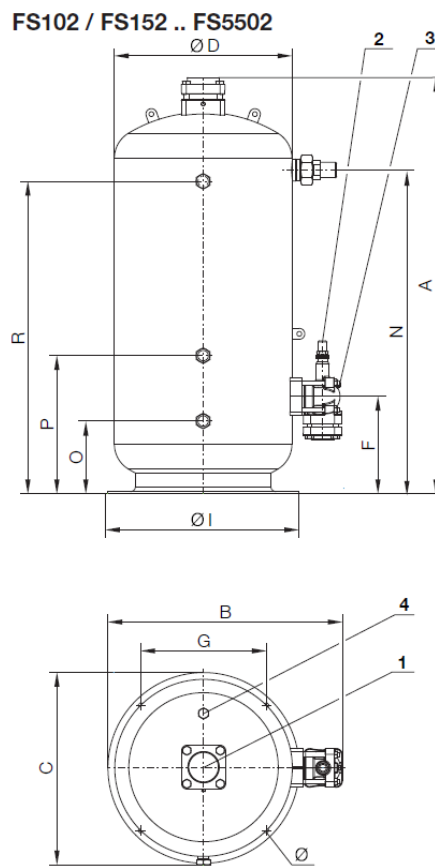


Рис.8.8.1 Габаритні розміри вертикального ресиверу Bitzer FS1602

Type	Receiver volume	Maximum refrigerant charge [Ⓞ]				Weight	Connections [Ⓞ]				Joining thread/flange		Gauge	Sight glasses [Ⓞ]
							Inlet o	Outlet o		Inlet	Outlet			
FS36	3	3,3	2,9	3,3	3	10	3/8"	10	3/8"	–	3/4" – 16 UNF	7/16"-20 UNF	1 [Ⓞ]	
FS56	5,6	6,2	5,4	6,1	5	10	3/8"	10	3/8"	–	3/4" – 16 UNF		2 [Ⓞ]	
FS76	7,8	8,6	7,5	8,5	6	12	1/2"	12	1/2"	–	1" – 14 UNS		2 [Ⓞ]	
FS102	10	11,0	9,6	10,9	11	16	5/8"	12	1/2"	1 1/4" – 12 UNF	1" – 14 UNS		2	
FS152	15	16,6	14,4	16,3	10	22	7/8"	16	5/8"	1 1/4" – 12 UNF	1" – 14 UNS		2	
FS126	13	14,3	12,5	14,2	13	12	1/2"	12	1/2"	–	1" – 14 UNS		2 [Ⓞ]	
FS202	20	22,1	19,2	21,8	17	22	7/8"	22	7/8"	1 3/4" – 12 UNF	1 1/4" – 12 UNF		2	
FS252	25	27,6	24,0	27,2	20	22	7/8"	22	7/8"	1 3/4" – 12 UNF	1 1/4" – 12 UNF		3	
FS302	30	33,1	28,8	32,7	22	28	1 1/8"	22	7/8"	1 3/4" – 12 UNF	1 1/4" – 12 UNF		3	
FS402	39	43,0	37,5	42,5	28	28	1 1/8"	22	7/8"	1 3/4" – 12 UNF	1 1/4" – 12 UNF		3	
FS562	56	61,8	53,8	61,0	42	35	1 3/8"	28	1 1/8"	2 1/4" – 12 UN	1 3/4" – 12 UNF	3		
FS732	73	80,5	70,2	79,5	50	35	1 3/8"	28	1 1/8"	2 1/4" – 12 UN	1 3/4" – 12 UNF	3		
FS902	89	98,2	85,5	96,9	60	42	1 5/8"	35	1 3/8"	2 1/4" – 12 UN	1 3/4" – 12 UNF	3		
FS1122	112	123,6	107,7	122,0	85	54	2 1/8"	42	1 5/8"	112 x 112	2 1/4" – 12 UN	3		
FS1602	160	176,5	153,8	174,2	115	54	2 1/8"	42	1 5/8"	112 x 112	2 1/4" – 12 UN	3		
FS2202	228	251,6	219,2	248,3	155	76	3 1/8"	54	2 1/8"	140 x 140	112 x 112	1/4" - 18 NPTF	3	
FS3102	320	353,1	307,6	348,5	195	76	3 1/8"	54	2 1/8"	140 x 140	112 x 112		3	
FS4002	395	435,8	379,7	430,2	260	DN100	76	3 1/8"		160 x 160	140 x 140	3		
FS4752	473	521,9	454,7	515,1	290	DN100	76	3 1/8"		160 x 160	140 x 140	3		
FS5502	550	606,8	528,7	599,0	325	DN100	76	3 1/8"		160 x 160	140 x 140	3		

Табл. 8.8.2 Модельний ряд вертикальних ресиверів Bitzer



Рис.8.8.3 Фото вертикального ресиверу Bitzer FS1602

8.9 Вентилятор

За визначеними параметрами вентилятору у розділі 7, обираю вентилятор від виробника SODECA CMT-2050-2T-30 IE3

A	B	C	C1	C2	øD	ød	ød1	ød2	E	H	H1	I	J
797	987	953	740.5	212,5	375	480	450	11	345	610	313	411	544
J1	K	k1	L	øO	øO1	V	v	X	x1	Y			
250	315	182,5	451	11,5	12	653	615	435	188	194.5			

Размеры указываются в миллиметрах (мм), если не указано иное

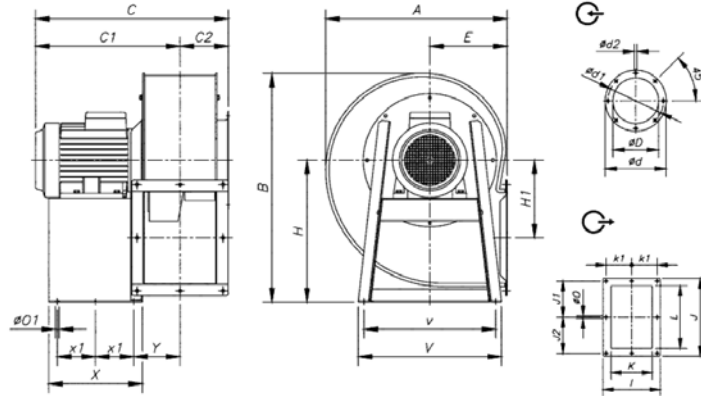
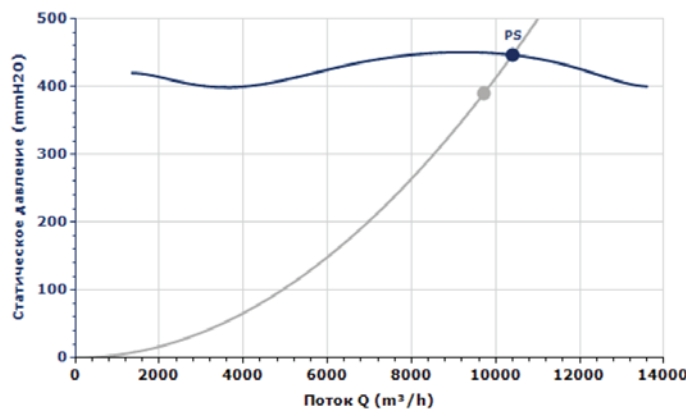


Рис.8.9.1 Габаритні розміри вентилятору CMT-2050-2T-30 IE3

ХАРАКТЕРИСТИКА И АКУСТИКА ДЛЯ 1,2KG/M³



Проектное значение	
Q (m ³ /h)	9720
Pe (mmH2O)	390
Рабочая точка (PS)	
Q (m ³ /h)	10402,25
Pe (mmH2O)	446,67
Pd (mmH2O)	25,33
Pt (mmH2O)	472,00
Скорость (rpm)	2900
Макс. темп. (°C)	120
Скорость выхода воздуха (m/s)	20,35

Графік 8.9.2 Графік залежності об'ємної витрати вентилятору від падіння тиску



Рис.8.9.3 Ілюстративне зображення вентилятору СМТ-2050-2Т-30 ІЕЗ

Номінальна потужність, кВт	22
Гц/Фази	50/3
Двигун (оберти/хв)	2950
Полюси	2
Макс. Сила току (А) 380-415 V D	39,7
Макс. Сила току (А) 660-725 V Y	23,0
Клас захисту двигуна	IP55
Розмір рами двигуна	180

Табл. 8.9.4 Характеристики електричного двигуна вентилятору

9. Розрахунок економічних витрат

9.1 Витрата електроенергії на роботу МХУОЗ

Час роботи МХУОЗ складає близько 30 діб – 720 год. Річне споживання електроенергії визначається за формулою:

$$W = \sum N_e \cdot K_c \cdot n, \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

N_e - номінальна потужність двигуна, кВт;

K_c - коефіцієнт використання;

n – час роботи обладнання при робочих умовах, год.

№	Назва обладнання	Номінальна потужність, кВт	Тривалість роботи двигуна, год	К-сть	Сума споживаної електроенергії, кВт·год
1	Поршневий компресор 6FE-50Y-40P	34,6	720	3	74 736,00
2	Конденсатор GCHV RD 090.2QF/13A-56	1,85	720	3	3 996,00
3	Вентилятор СМТ-2050-2Т-30 ІЕЗ	22	720	1	15 840,00
Загальна к-сть споживаної ел.енергії, кВт·год					94 572,00
Вартість оплати за сезон (при 1,68 за кВт·год), грн з ПДВ					158 880,96

Таблиця 9.1 – Розрахунок електровитрат (Розрахунок проведено без врахування коефіцієнту використання)

9.2 «Природній» виток фреону

Норма витоку фреону визначається у великому діапазоні різними авторами та інженерними компаніями, приймаємо наступне значення 100 грам холодоагенту R507 на 1 кВт номінальної холодопродуктивності МХУОЗ. Вартість 1 кг R507 складає приблизно ~ 510 грн. Тоді,

$$m = Q_0 \cdot 0,1 = 18,9 \text{ кг}$$

Враховуючи, той факт, що система тривалий час буде законсервована на зимній період. Розрахункове поповнення системи буде в 1 балон (11,3 кг)

$$n = 11,3 \cdot 510 = 5763, \text{ грн з ПДВ}$$

					КР 000.142.008.002.2022.РПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Д.М. Степаніцев			Проект холодильної установки з обробки зернових культур холодом продуктивністю 600 т. на добу на базі Кононівського елеватору	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.							61	62
Реценз.						ТЕХТ ННІТІ НУХТ		
Н. контр.								
Затверд.		М.О. Прядко						

Перелік використаних джерел:

[1] Зимин Игорь Борисович, & Иванов Игорь Николаевич (2017). Теоретическое обоснование конструктивно-технологических параметров охладителя зерна бункерного типа. Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии, (3), 33-37.

[2] Станкевич Г. М. Сушіння зерна: Підручник / Г. М. Станкевич, Т. В.Страхова, В.І. Атаназевич – К.: Либідь, 1997. – 352 с.

[3] Дрогалин К.В. Об оптимальных технологических условиях вентилирования зерна в силосах. - Труды ВНИИЗ, 1963, вып.25, С.51...54.

[4] Овсянникова, Л., & Орлова, С. (2019). ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК АКТИВНОГО ВЕНТИЛЮВАННЯ ДРІБНОНАСІННЄВИХ КУЛЬТУР. Scientific Works, 83(2), 33-38, с.36.

[5] Horabik, Józef & Molenda, Marek. (2002). Properties of Grain for Silo Strength Calculation. 10.1007/978-1-4615-0085-8_12., стр. 195, 196

[6] Український гідрометеорологічний центр (https://meteo.gov.ua/ua/33487/climate/climate_stations/)

[7] Трисвятский Л.А., Мельник Б.Е. Технология приема, обработки, хранения зерна и продуктов его переработки. - М.: Колос, 1983, - 351 с.

[8] <http://right-frank.com/ua/articles/mycotoxins.htm>

[9] Теплонасосна зерносушарка для насінневого зерна, Снежкін Ю. Ф., Пазюк В. М., Петрова Ж. О., Чалаєв Д. М. с.9, с.

[10] <https://www.bitzer.de/websoftware/>

[11] Український науково-дослідний гідрометеорологічний інститут

[12] Lessard, F.. (2015). Integrated approach of the prevention of mould spoilage risks and mycotoxin contamination of stored grain – a European perspective.

					<i>КР 000.142.008.002.2022.РПЗ</i>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		<i>Д.М. Степаніцев</i>			<i>Проект холодильної установки з обробки зернових культур холодом продуктивністю 600 т. на добу на базі Кононівського елеватору</i>	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.							62	62
Реценз.						<i>ТЕХТ ННІТІ НУХТ</i>		
Н. контр.								
Затверд.		<i>М.О. Прядко</i>						