

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

До захисту
Допускається
Завідувач кафедри енергетики та
електротехнічних систем

доцент Чепіжний А.В.

ДИПЛОМНА РОБОТА
за магістерським рівнем вищої освіти

На тему: «Обґрунтування параметрів теплогенеруючого пункту для шахтної зерносушарки смт. Степанівка Сумського району»

Виконав

_____ (підпис)

Бугайов В.Г.
(прізвище, ініціали)

Група

ЕТЕС 2301м

(Наукові) керівники:

_____ (підпис)

Юрченко О.Ю.
(прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Чепіжний А.В.
(прізвище, ініціали)

Суми – 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

Ступінь вищої освіти «Магістр»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

завідувач кафедри енергетики та
електротехнічних систем

доцент _____ Чепіжний А.В.
(підпис, вчене звання, прізвище, ініціали)

« _____ » _____ 202__ року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ
ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Бугайов Владислав Григорович

(прізвище, ім'я та по батькові)

1. Тема роботи: Обґрунтування параметрів теплогенеруючого пункту для шахтної зерносушарки смт. Степанівка Сумського району

керівники роботи: Юрченко Олександр Юрійович, ст. викладач
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Чепіжний Андрій Володимирович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджено наказом по закладу вищої освіти від «13» __ 04 __ 2023 р. № 897-н

2. Термін подання здобувачем закінченої роботи «11» __ 11 __ 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи технічні характеристики різноманітного вентиляційного обладнання для деревообробного цеху, нормативні документи для проведення досліджень, стандарти.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці):

Вступ

Розділ 1. Аналіз стану питання

Розділ 2. Теоретичні та експериментальні дослідження

Розділ 3. Обґрунтування параметрів системи

Розділ 4. Охорона праці.

Розділ 5. Техніко-економічні розрахунки

Висновки

Список використаних джерел

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

Презентаційний матеріал виконаний в програмі Power Point

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
Охорона праці		
Економічне обґрунтування		

КАЛЕНДАРНИЙ ГРАФІК

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Аналіз літературних джерел з обраної тематики	до 15.08.2024 р.	
2	Складання плану роботи	до 23.08.2024 р.	
3	Написання вступу	до 26.08.2024 р.	
4	Підготовка розділу «Розділ 1»	до 28.08.2024 р.	
5	Підготовка розділу «Розділ 2»	до 16.09.2024 р.	
6	Підготовка розділу «Розділ 3»	до 14.10.2024 р.	
7	Підготовка розділів «Розділ 4» та «Розділ 5»	до 21.10.2024 р.	
8	Написання висновків та пропозицій	до 28.10.2024 р.	
9	Подання роботи на перевірку унікальності до експертної ради факультету	до 01.11.2024 р.	
10	Подання роботи на рецензування	до 05.11.2024 р.	
11	Подання до попереднього захисту	до 12.11.2024 р.	

Здобувач вищої освіти

(підпис)

(Бугайов В.Г.)

(прізвище, ініціали)

(Наукові) керівники
дипломної роботи

(підпис)

(Юрченко О.Ю.)

(прізвище, ініціали)

(підпис)

(Чепіжний А.В.)

(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел. Роботу викладено на 45 аркушах друкованого тексту, складається з 18 рисунків.

Метою даної роботи обґрунтування параметрів теплогенеруючого пункту для шахтної зерносушарки смт. Степанівка Сумського району та відповідного для даного процесу обладнання.

У зв'язку із представленою метою в дослідженні поставлені такі задачі:

- розглянути параметри вибору сучасних зернових сушарок, що використовуються в сільському господарстві;
- розглянути параметри, властиві саме зерновим сушаркам шахтного типу виконання;
- перерахувати переваги та недоліки використання шахтних зернових сушарок елеваторами;
- проаналізувати відповідні публікації по даній темі закордонних науковців;
- наочно представити зображення досліджуваної шахтної зернової сушарки та теплогенеруючого пункту для смт. Степанівка Сумського району;
- перерахувати основні параметри керування процесом та відповідні їм елементи;
- представити та охарактеризувати схему технологічного процесу роботи шахтної зернової сушарки смт. Степанівка.

Ключові слова: зерно, зернова маса, зернова сушарка, сушарка шахтного типу, температура, вологість, якість, вентилятор, конвеєр, тепло, розвантаження, завантаження, аналіз, теплогенеруючий пункт.

ЗМІСТ

1. ВСТУП.....	6
2. РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ.....	7
3. РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	18
4. РОЗДІЛ 3. ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ.....	26
5. РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	39
6. РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ	41
7. ВИСНОВКИ.....	43
8. СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	44

ВСТУП

Введення сучасних стандартів щодо якості зернової продукції зумовлює використання відповідного технологічного обладнання. Для прикладу, сучасні зернові сушарки мають у своєму складі широкий перелік функцій, що дає можливість покращення стану зернової маси.

В даній роботі пропонується обґрунтувати параметри шахтної зернової сушарки смт. Степанівка Сумського району. Актуальність питання підтверджується сучасним підходом в розробці систем автоматизації при керуванні та контролю за даним процесом.

Тому, перед дослідженням ставляться такі задачі:

- розглянути параметри вибору сучасних зернових сушарок, що використовуються в сільському господарстві;
- розглянути параметри, властиві саме зерновим сушаркам шахтного типу виконання;
- перерахувати переваги та недоліки використання шахтних зернових сушарок елеваторами;
- проаналізувати відповідні публікації по даній темі закордонних науковців;
- наочно представити зображення досліджуваної шахтної зернової сушарки та теплогенеруючого пункту для смт. Степанівка Сумського району;
- перерахувати основні параметри керування процесом та відповідні їм елементи;
- представити та охарактеризувати схему технологічного процесу роботи шахтної зернової сушарки смт. Степанівка.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ

Значний попит на продукцію сільського господарства зумовлено постійними запитами споживача у цілях:

- харчової промисловості;
- сировини для пального;
- матеріалів для енергетичних установок;
- утримання худоби;
- експорту та ін.

Робота зернових підприємств супроводжується великою кількістю операцій, які виконуються на них різного роду устаткуванням. Такі великі організації та товариства, як Кернел, Урожайна країна, Авіс, Райз Максимко, мають свої власні елеватори з відповідним обладнанням, яким вони комплектуються.



Рисунок 1.1. Елеватор Авіс Зернотрейд, село Біловод, Роменський район, Сумська область



Рисунок 1.2. Елеватор СТОВ Дружба Нова



Рисунок 1.3. Елеватор МХП Урожайна Країна, с. Андріяшівка

Для прикладу, місце будівництва елеватора «АВІС ЗЕРНОТРЕЙД» обрано не випадково, що стверджується в агрохолдингу. Для людей, що є далекими від елеваторного бізнесу, даний вибір міг би здатися дивним, так як в безпосередній близькості мають місце значна кількість зерносховищ. Проте, як виявилось, ними не складається перешкода планам елеватора. Таке місце розташування вважається стратегічно важливим з точки зору межування відразу трьох областей:

- Полтавської;
- Сумської;
- Чернігівської.

На даній території присутня велика кількість аграрних виробників. Наразі ринком пропонується значно більша кількість зерна, а ніж можна реально зберігати. Тому, в такому розташуванні отримується лише порівняно вища перспектива і плани з розширення і нарощення обсягів.

Використання на елеваторах обладнання спровоковане різними функціями, що виконуються такими установами. Для прикладу, на елеваторах агрохолдингів і фірм виконуються такі види робіт:

- прийом зернової маси;
- аналіз зернової маси;
- зважування зернової маси (у тому числі і маси транспортного засобу, що використовується в транспортних роботах);
- вивантаження зернової маси;
- очищення зернової маси;
- сушіння;
- зберігання;
- відвантаження;
- інші види робіт з господарської та фінансової частин для відповідної установи.

Промислові зернові сушарки різняться не лише високою продуктивністю, але й особливим, специфічним для кожної сушарки, промисловим дизайном. Такий дизайн містить в собі такі елементи:

- додаткові системи з безпеки;
- відповідність усім сучасним стандартам;
- більш ефективні системи по рекуперації іта рециркуляції для теплових процесів;
- утеплення;
- повний комплект елементів та площадок, що використовуються з метою обслуговування;
- додаткові системи по пилопригніченню і шумоізоляції;
- інше.

В даній роботі обґрунтовується система функціонування шахтних сушарок для сучасного елеватора. Високопродуктивні й економічні європейські зернові сушарки виконуються за останнім словом техніки як у сільськогосподарській версії, так і є доступними за ціною у будь-якого сільськогосподарського кооперативу або агропідприємств чи великих фермерських господарств.

Сучасний елеватор має у своєму складі одночасно кілька зерносушильних установок. Пов'язано це як з об'ємами, з якими працює елеватор, так і з різновидом культур для сушіння і зберігання.

Для прикладу, існує ціла низка з особливостей для різних зернових сушарок, що необхідно враховувати:

- режим роботи;
- мобільність зерносушарки;
- альтернативність джерел тепла;
- ефективність роботи у холодну пору року і від чого вона залежить;
- багато інших питань.

Під режимами роботи мають на увазі порційний режим роботи, потоковий або комбінований. Функціонування сучасних елеваторів із зерновими сушарками нині розгорнуто за усіма можливими способами роботи. Постійні надходження зернової маси відіграють важливе значення. Тому, режими роботи можуть змінюватися згідно з представленою класифікацією погодинно.

Під мобільністю зернової сушарки вважають можливість її переміщення, тобто її мобільність. Особливо це стосується сучасних сушарок малої продуктивності – до 100 тон. Такі зернові сушарки працюють з приводом від валу відбору потужності енергетичного засобу, що найчастіше виступає у ролі трактора. Окремо, даним механізмом приводиться в дію генератор зернової сушарки для окремих функціональних завдань процесу сушіння зерна.

Виконання своїх основних завдань зернова сушарка реалізує з використанням різних видів сировини. Це може бути як електрична енергія, так і пар, пелети, дрова або тріска.

Ефективність роботи зернової сушарки вважається чи одним з основних параметрів характеристики установок, що є властивим для будь-якого виду обладнання. В даному випадку розуміють спосіб проходження пару або тепла через шар зерна, яке сушать, температура, якою видаляється волога із зернової маси, продуктивність установки.

Усі зерносушарки є дуже різними й, відповідним чином, набір їхніх функціональних особливостей також різниться у відповідності з функціональними завданнями та способом їх реалізації. Функціонування таких установок складає приблизно 30% від загального обсягу виконуваних робіт елеваторами. На інші види робіт відносять, головним чином, зберігання зернової продукції, її очищення, незначною мірою, порівнюючи з перерахованими трьома попередніми, - функції з прийому, аналізу, розвантаження, завантаження та транспортування.



Рисунок 1.4. Функціональні завдання елеваторів. 1. Прийом; 2. Аналіз; 3. Розвантаження; 4. Очищення; 5. Сушіння; 6. Зберігання; 7. Відвантаження

На рисунку 1.4 зображено основні етапи функціонування сучасного елеватора. В даній роботі особливої уваги, згідно з даним рисунком, посідає функція сушіння зерна. Тому, питанню роботи шахтної сушарки відводиться особлива увага.

По праву, шахтну зерносушарку (рисунок 1.5) вважають найпоширенішим типом зерносушарок. І це явище характеризує не лише у Європі, але і в Україні. Тому, нинішні тенденції на світовому ринку показують їхнє відносно стрімке завоювання ринку.



Рисунок 1.5. Зерносушарка шахтного типу

У свій час, найбільше для України купувалися американські зернові сушарки, серед яких присутніми були модульні і баштові зернові сушарки поперечного потоку. По причині своєї дешевизни вони були досить поширеними не лише серед фермерів, але й для великих елеваторів.

Проте, тенденції змінюються. І сьогодні спостерігається зворотне явище: в більшості випадків встановлюються зернові сушарки шахтного типу (рисунок 1.5).

Шахтною зерносушаркою вважається сушарка зерна, що є сконструйованою у формі вертикальної шахти. У більшості випадків, такою зерносушаркою забезпечується змішаний потік для робочого агента по шахті з метою досягнення максимальної однорідності і кінцевої вологості для зерна.

До переваг шахтних зерносушарок відносимо:

- максимально однорідний процес поширень потоків для гарячого повітря в усьому об'ємі зернової шахти;

- мінімальні викиди по пилу у порівнянні з іншими типами наявних зернових сушарок;

- можливість утеплень зернової шахти з метою скорочень витрат газу (чи іншого виду палива), а також, обов'язково, - збереження продуктивності зернової сушарки з одночасним підтриманням однорідності по кінцевій вологості для холодної та дуже холодної пір року;

- легке очищення для зернової шахти (особливо важливо при порівнянні з зерновими сушарками для поперечного потоку, що обладнуються перфорованими сітками;

- довговічність;

- низький рівень по шуму;

- сушіння будь-якої культури без необхідності у складних підготовчих операціях (наприклад, зміні сітки тощо).

Говорячи про недоліки зерносушарок шахтного типу, можна вважати, що їх з технологічної точки зору практично немає. Їх влаштовано з максимальною універсальністю.

Хоча, монтаж зернових сушарок шахтного типу є дещо довшим, загалом це не позначатиметься на термінах по будівництву елеваторів або зернових комплексів, так як їх монтаж проводитиметься спільно із іншими типами робіт:

- монтажем периферійного елеваторного обладнання;
- електромонтажем;
- підведенням газу тощо.

А терміни на виконання даних інших робіт є зазвичай довшими.

Вибір шахтних зерносушарок зумовлюється двома видами параметрів. Дані два типи параметрів для зернових сушарок можна виокремити таким чином:

- параметри, які відносяться до усіх сушарок (серед них ємність шахти, теплова потужність, потік повітря);
- параметри, що є специфічними саме для шахтних зерносушарок.

Параметри, загальні для всіх зерносушарок

- 1) наявність чи відсутність систем з рекуперації тепла;
- 2) наявність чи відсутність систем по рециркуляції тепла;
- 3) наявність витяжних вентиляторів, у разі, коли планується переведення на тверде паливо;
- 4) продуктивність по кукурудзі, що є приведеною до сучасного стандарту 28%-14%, а також температура навколишнього середовища 15°C (вибір може бути здійсненим за іншою основною з культур. В даному випадку, з метою правильного порівняння важливим є критерій щодо вибору культури, яка буде основною);
- 5) електрична потужність для основних вентиляторів та потік робочого агента (повітря) по зерновій сушарці (м³/Год);
- 6) робоча теплова потужність і теплова ефективність (визначаються по кількості тепла, що є необхідним для видалення одного кілограму вологи, – в сучасних сушарках цей показник становить цифри від 720 до 850 ккал/1кг H₂O по кукурудзі із 28% до 14%).

Параметри, що є властивими тільки шахтним зерносушаркам

При визначенні для себе саме з типом зерносушарки, що визначається як шахтна зернова сушарка, необхідно звернути увагу ще також і на:

- 1) наявність біконічних (призматичних) повітряних проводів, що розташовані у шаховому порядку. Біконічною формою повітропроводів дається можливість забезпечення ще більш рівномірної кінцевої вологості для зерна;
- 2) тип сталі, із якої зроблено зернову сушарку. Зрозуміло, що звичайної оцинковки не є достатньо. Необхідними є сучасні сталі. Самі корпуси зазвичай виконуються із сталі Алюцинк. Інші елементи, для прикладу, внутрішні (біконічні) повітряні проводи, що є набагато більше схильними до впливу перепадів вологи й температури, необхідно виконувати із нержавіючої сталі або із іншої суцільної сталі, що є не оцинкованою та не алюцинком, так як дані сталі вважаються звичайними конструкційними сталями із тонким шаром цинку чи алюцинку. Для прикладу, виробником Фінпро Груп рекомендовано звертати увагу особливо на кортенівську сталь;
- 3) тип системи з розвантаження зерна із шахти. Існують два основні типи:
 - механічний, що визначається як спосіб постійної дії тоді, коли зерно безперервно вивантажуватиметься із шахти;
 - пневматичний, що визначається як спосіб порційної дії тоді, коли зернову масу із шахти вивантажують по порціям із інтервалом у 1-5 хвилин.Другий тип з систем розвантаження зернових сушарок вважається порівняно набагато привабливішим. Такою системою надається можливість по не лише уникненню можливих застоїв зернової маси, а і максимального знеплення процесу сушіння (в ті моменти, коли просування зернової маси шахтою перекривається шибєрними заслінками вентиляторів, що перешкоджатимуть виходу пилу із шахти;

- 4) ширина пальника по відношенню до ширини сушарки. Визначено закономірність: чим більшу частину ширини зернової сушарки займатиме пальник, то більш одноріднішим відбуватиметься поширення тепла для зерна. Для прикладу, навіть в деяких відомих для України європейських виробників ширину пальника встановлюють $1/4$ чи $1/3$ від ширини шахти. І це є явно недостатнім;
- 5) утеплення. Всіма європейськими виробниками для шахтних зернових сушарок заявлено, що їхні шахти утеплено або пропонується дана опція. Проте, це не завжди є правдою. Деякі із сушарок є утепленими тепловими матами, чим створюються досить хороші теплоізоляційні прошарки між коробами гарячого повітропроводу і зовнішнім середовищем. Проте, є й виробники, якими виділяються махінації щодо цього. Для прикладу, це обшивка сушарку профнастилом, а у ролі утеплювача називають повітря. Повітря, в даному випадку, було би дійсно непоганим теплоізолятором, але тоді, коли із торців такі листи були б закритими. Проте це не є так. А тому, виробником Фінпро Груп рекомендується купувати саме зернові сушарки, що є повністю утепленими із використанням відповідного типу теплоізоляційних матеріалів.
- б) розташування вихлопної труби для відпрацьованого повітря повинно бути верхнім. Це означає, що відпрацьоване повітря повинно бути викинутим на рівень, що є вищим висоти зернової сушарки.

Тому, обґрунтування параметрів зернової сушарки шахтного типу є досить актуальним завданням, особливо теплогенеруючого її пункту, що є повністю автоматизованим у плані керування процесом сушіння зерна та відповідних до цього функціональних завдань та особливостей.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Досить широкі обговорення ефектів стратегії по енергозбереженню, таких як рекуперації тепла з гарячого зерна і рециркуляції гарячого повітря по відношенню до процесу наявні сьогодні при проектуванні елеваторного обладнання. В дослідженні [1] підкреслено, що стратегія з рекуперації тепла вважається все більш важливою за більш низьких масових витрат для зерна. Підкреслено, що продуктивність зернової сушарки з псевдозрідженим шаром є пропорційною до нерозширеної глибини псевдозрідженого шару.

Різного роду конструкції зернових сушарок (особливо ті, які розроблені без до двох десятиліть тому) зі змішаним потоком значною мірою можуть призводити до неналежного процесу розподілу часу по перебуванню локально різних умов для сушіння а, отже, і до явища неоднорідного сушіння [2]. В даному дослідженні з метою вивчення впливів елементів конструкції і різних схем для повітроводів проведено експерименти по часу перебування, експерименти із сушіння зерна й моделювання дискретних елементів, що були реалізованими як в пілотному, так й у промисловому масштабах. Даними дослідженнями показано, що існуючі конструкції для сушарок дають широкі розподіли часу по перебуванню, по вологості та за температурою зерна. Це вважається наслідком з різних історій сушіння для окремих зерен. Така зміна, в основному, має залежність від схем повітроводу, а це застосовуватиметься і також залежатиме від інших структурних й робочих параметрів. Нерівномірні сушіння вважається одними з основних причин по підвищенню енергетичних потреб, що, все ще, є порівняно високими у сушарках із змішаним потоком. Майбутньою метою вважають розробку низки покращених конструкцій для сушарок із змішаним потоком [2].

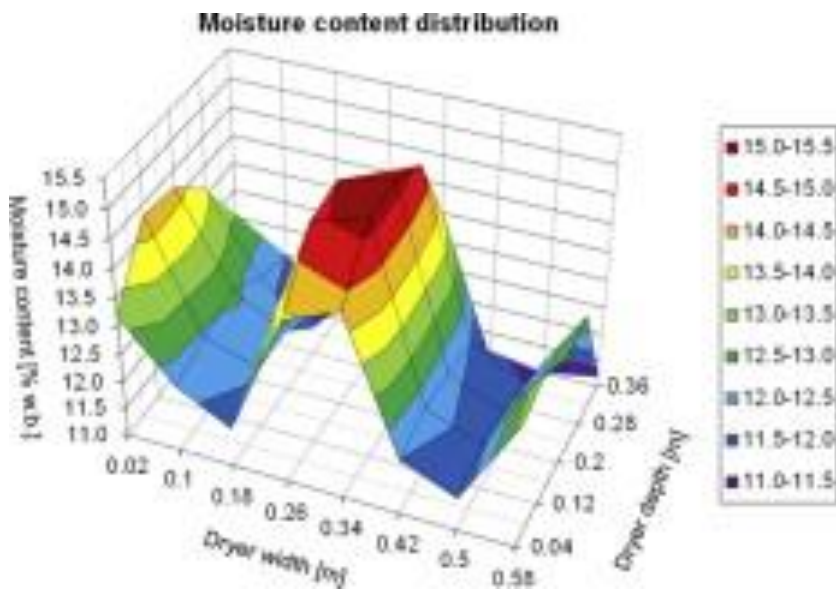


Рисунок 2.1. Моделювання дискретних елементів по потоку частинок як для пілотних, так і для промислових сушарок [2]

Несприятливі конструкції в сушарок змішаного потоку можуть призводити до неналежного розподілу по:

- вологості;
- часу перебування;
- неоднорідному сушінню зерна.

Для метою вивчення впливів різних схем повітроводів проведено експерименти по сушінню та часу по перебуванню, а також моделювань дискретних елементів по потоку частинок як в пілотних, так й на промислових сушарках (рисунок 2.1). Як було указано, особливо класичною горизонтальною схемою повітроводу викликано високі коливання по вологості зерна, у тому числі, за поперечним перерізом. Як наслідок, майбутня мета полягала в розробці нових, порівняно кращих конструкцій [2].

Розроблена в роботі [3] математична модель сполученого тепло- і масопереносу з метою розрахунків процесів сушіння у зерносушарці змішаного потоку. Показано, що періодична робота сушарок на вивантаження призводитиме до

сильних коливань за температурними показниками і вологості матеріалів. Проведена серію експериментів із квазістаціонарної сушіння, а результати використані для перевірки і покращення моделі сушарок. Розрахункові результати досить добре узгоджено в стаціонарні періоди роботи, а це є актуальним для практики [3].

Сушка вважається ключовим з компонентів по збереженню зерна і зернових продуктів, так як зниження в активності води захищатиме продукти від псування по причині плісняви при зберіганні. В дослідженні [4] розглядаються різні аспекти по сушінню зернових культур. Зокрема, обговорено концепції по сушінню зерна, включаючи й теорію з:

- сушіння;
- вологості;
- рівноважної вологості;
- рівноважної відносної вологості;
- тепло- та масоперенесень.

Докладно обговорено обладнання, що використовується для сушіння зерна, а також методи і різні типи систем по сушінню зерна. Також коротко обговорено споживання і енергозбереження [4].

В міру того, як сільське господарство мало зріст в масштабах, й фермери навчилися вирощувати врожай в кількостях, які перевищують ті, що є необхідними для їх безпосередніх використань, виникли потреби у методах по зберіганню та транспортуванню великих обсягів зернової продукції. Так як зерно є біологічним матеріалом, що взаємодіє з їх безпосереднім осередком – середовищем, його необхідно зберігати, а також транспортувати й обов'язково транспортувати із використанням методів, які зберігають їх якісний склад як насіння, а також продуктів харчування чи сировини. Правильний процес управління у процесах збору врожаю, очищень, сушінь, транспортувань та зберігань підтримуватиме зерно у належному стані для використань [5].

Зернову масу часто збирають при надто високій вологості. Сушіння вважається найбільш поширеним з післязбиральних процесів, і він виконується з метою довгострокового зберігання зерна. Якість зернової продукції значною мірою залежатиме від процесів сушіння і типу сушарки. В роботі [5] розроблено різні чисельні моделі з метою моделювання процесів сушіння зерна в основі чого лежить або баланс тепла і маси, або систем з диференціальних рівнянь.

Зерно зберігатиметься в круглих бункерах, штабелях і плоских складських спорудах. Подібно до всіх споруд, зерносховища і будинки, у яких зберігають зерно, спроектовано так, аби витримувати різні з комбінацій навантажень, та не перевищувати при цьому відповідного граничного стану матеріалів конструкції. Сховища для зерна спроектовано із урахуванням припущень, що зерно вважається сипучим матеріалом, й аналіз його фізичних поведінок перетинатиметься із багатьма аспектами з механіки ґрунту. Наявна велика кількість проектних норм, що можна використовувати із метою оцінки навантаження, що подаються зерном у бункери. Такі навантаження залежатимуть не лише від умов зберігання зерна, а й від типу сховищ, що використовують [5].

Майже на усіх зернових підприємствах зерно має процеси переміщення по усьому підприємству з однієї операції і до другої. Ключовими елементами в проектуванні будь-якої системи з обробки зерна вважаються вказівки по бажаній швидкості з обробки між станціями по доставці та прийомі. Обробка зернової маси може здійснюватись за допомогою жолобів, а також гвинтових конвеєрів, стрічкових конвеєрів і пневматичних конвеєрів. Кожен з них матиме свої власні критерії по проектуванню. З метою підтримки якості для зерна зерно також досить часто очищають із використанням безлічі різного роду процесів [5].

Аби краще зрозуміти поведінку зерна, часто перевіряють властивості зерна та зерна в масі. Наявно безліч тестерів по вимірювання властивостей потоку в таких системах частинок. Більшість з них є адаптаціями до пристроїв, що використовуються з метою випробування на прями зсуви, а це використовується в механіці ґрунту

відповідними фахівцями – інженерами-будівельниками в даній галузі. Основною відмінністю визначається: розмір частинок зерна вважається унікальними умовами для випробувань, а це сильно відрізняється від умов ґрунту. Моделювання для зерна і зерна у масі виконується із використанням і аналітичних, і обчислювальних методів. Дані аналітичні і комп'ютерні моделі є досить відмінними від емпіричних методів, що використовувались протягом останніх 100 років ще для проектування бункерів для зерноочисних та сушильних установок як для малих фермерських господарств, так і для великих елеваторів, наприклад, агрохолдингів [5].

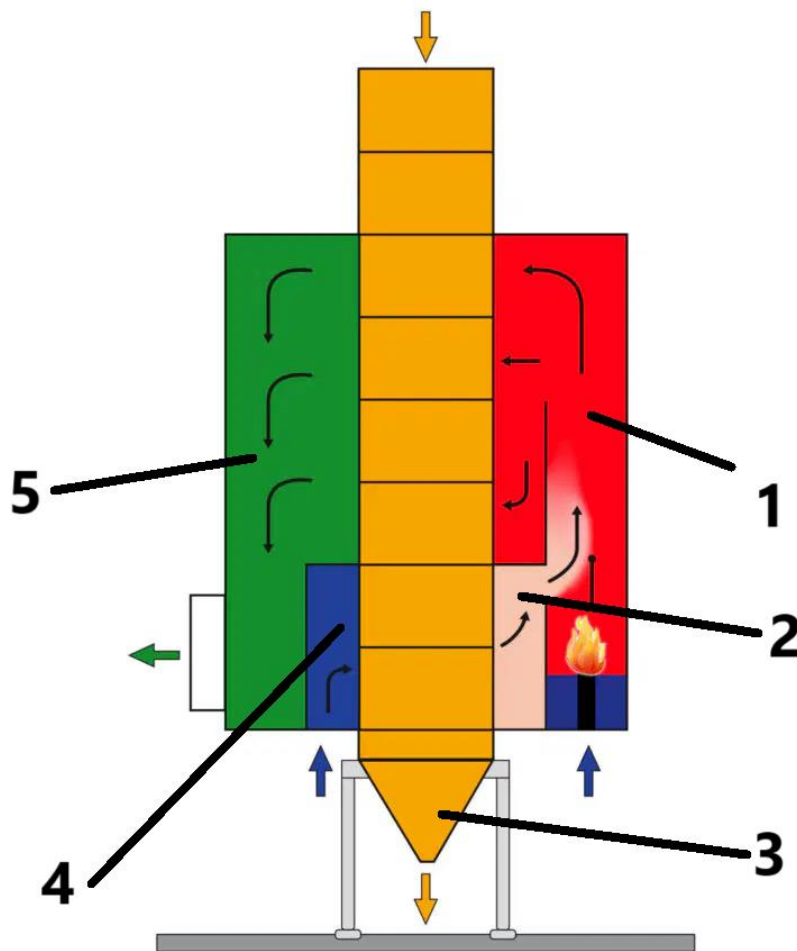


Рисунок 2.2. Рекуперація системи тепла для шахтної зерносушарки. 1 – гаряче повітря; 2 – повітря рекуперації; 3 – зерно; 4 – холодне повітря; 5 – відпрацьоване повітря

Відома конструкція шахтної зернової зображена на рисунку 2.2. На даному рисунку схематично показано процес рекуперації системи тепла. Холодне повітря, що проходить по зоні охолодження, не вбиратиме у себе вологу, так як там зерно уже буде сухим, але нагріватиметься (від наявного теплого зерна). Таке повітря буде повертатися назад в шахту. В результаті, необхідним є нагрів меншого об'єму холодного повітря, а це дає змогу економії палива.

Системи з рекуперації тепла є досить різними:

- пряма рекуперація;
- зворотна;
- змішана із системою рециркуляції повітря.

Принцип її роботи двозонних зернових сушарок є подібним до указанного вище – зерно просуватиметься зверху вниз й на шляху обдуватиметься гарячим й холодним потоками повітря.

Важливою відмінністю можна вважати проходження повітря через шахту двічі. Унизу воно здійснює рух через зону з охолодження й нижню зону сушіння (зона 3, рисунок 2.3), а уже потім, ще сухий, проте уже теплий шар, допідігріватиметься другим пальником й прямуватиме в верхню зону для сушіння, де наявне найбільш вологе зерно.

Таку повну рекуперацію та рециркуляцію тепла є можливість досягати за найменшої витрати палива, а цим знизиться собівартість для готової продукції (чи послуг елеватора).

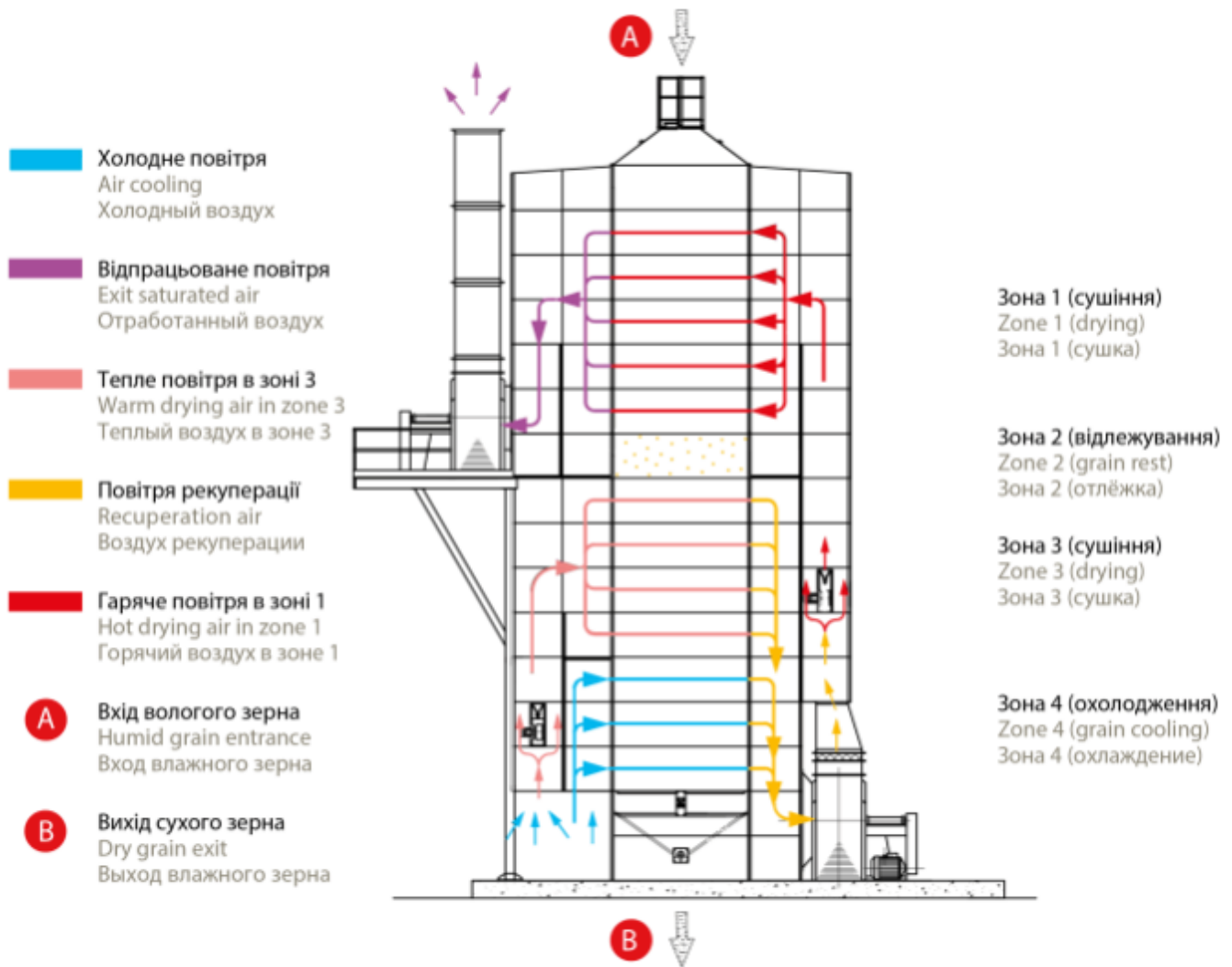


Рисунок 2.3. Теплова схема для двозонної шахтної зернової сушарки з повною рекуперацією та рециркуляцією тепла

Окремо слід звернути увагу ще і на влаштування зернової колони. Якщо дивитись на теплові схеми, що є представленими вище, то може скластись враження, що гаряче повітря просуватиметься крізь товсті шари зерна зліва направо (чи справа наліво).

Проте, крізь зерно повітря проходитиме у вертикальному напрямку, а саме: зверху вниз та знизу вгору. Пов'язаний даний процес із пристроєм зернової колони – в вигляді безлічі повітряних проводів, що є розташованими у шаховому порядку згідно зі всією робочою висотою колони.

В результаті, повітря у горизонтальному напрямку переміщуватиметься тільки усередині цих повітропроводів. Через зерно повітря здійснюватиме рух вертикально.

Завдяки даній системі отримується найбільш однорідний та рівномірний прогрів зерна. Тому шахтні зернові сушарки, на відміну від зернових сушарок поперечного потоку, мають можливість досягнення вищих температур для робочого агента без погіршення в якості зерна. Й саме тому, однорідність для кінцевої вологості в зерновій масі у шахтних сушарках є максимальною.

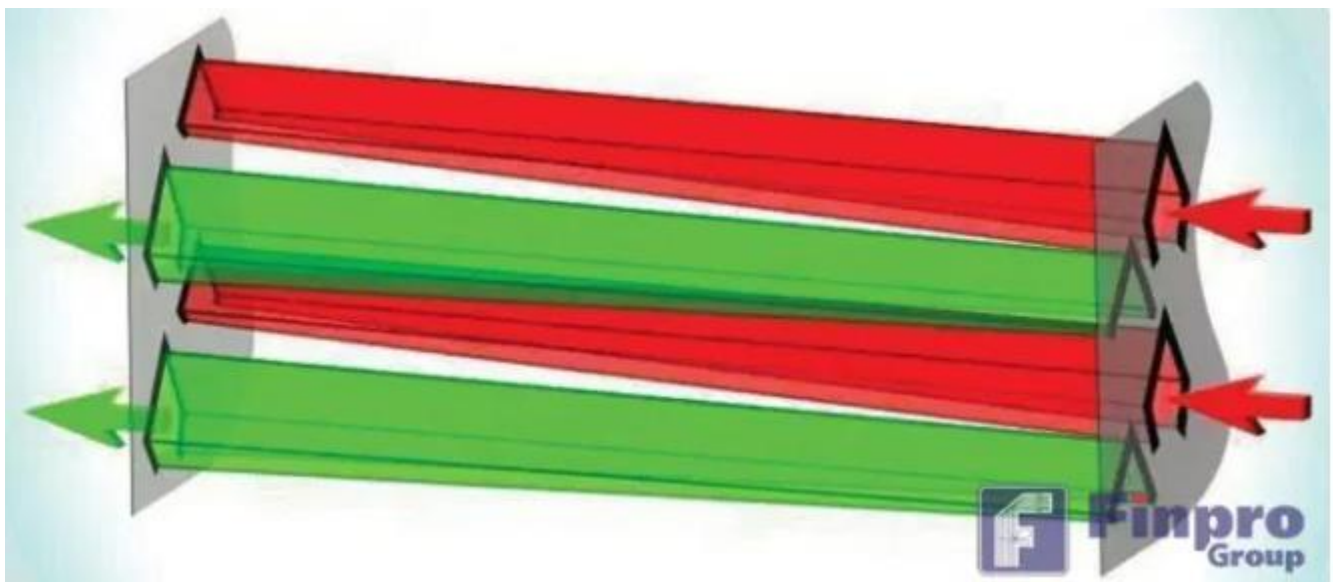


Рисунок 2.4. Повітропроводи біконічного типу

Як висновок до даного розділу слід підкреслити необхідність обґрунтування параметрів системи керування шатною сушаркою для теплогенеруючого її пункту на елеваторі по сушінню та зберіганню зернової продукції агрохолдингу.

РОЗДІЛ 3. ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ

Шахтні зерносушарки вважаються найкращим, що є на сучасному ринку як для середніх фермерських господарств, так і для великих елеваторів. Зернові сушарки поперечного потоку зайняли дедалі меншу частку для ринку серед України та стають прерогативою радше великої кількості невеликих фермерських господарств. Однак, шахтні сушарки є досить різними. Найявніми є дуже багато різного роду технологічних особливостей, що властиві навіть, здавалося б, схожим шахтним зерносушаркам.

Експериментальне дослідження з метою обґрунтування параметрів теплогенеруючого пункту здійснено в смт. Степанівка Сумського району. Нижче, на рисунку 3.1, зображено загальний вигляд шахтної зернової сушарки, яка використовується на підприємстві.

З необхідного слід підкреслити, що одним з основних параметрів даного теплогенеруючого пункту є його потужність. В даному випадку, заявленою потужністю виробника визначено показник 10 МВт.

Усі необхідні матеріали та схеми щодо теплогенеруючого пункту взято з проекту, розробленого фірмою-виробником даного обладнання.



Рисунок 3.1. Загальний вигляд шахтної зерносушарки смт. Степанівка

Обґрунтування параметрів роботи системи доцільно розпочати з технологічної схеми роботи установки. Таку схему зображено нижче, на рисунку 3.2.

Переліком обладнання по виконанню відповідних функцій, в даному випадку, визначено низку устаткування.

Процес розвантаження зернової маси здійснюється при роботі двох технологічних установок, визначених по схемі технологічній, як «рухоме дно» з потужністю 18 кВт та «конвеєр стрічковий» з потужністю 4 кВт (рисунок 3.3).

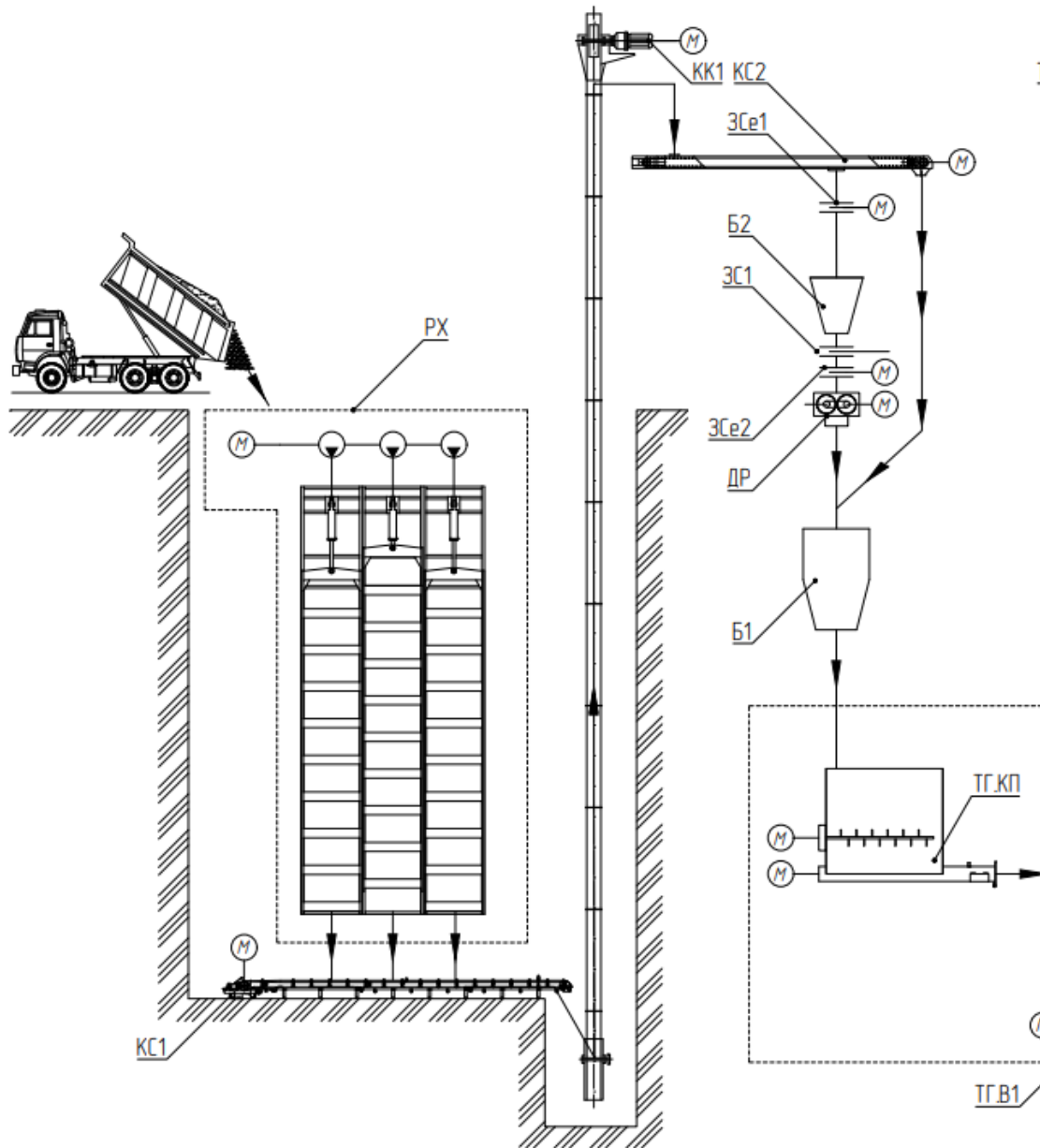


Рисунок 3.3. Процес руху зернової маси від транспортного засобу до теплогенератора

В подальшому, конвеєром ковшовим дволанцюговим з потужністю 5,5 кВт зернова маса подається на конвеєр скребковий потужністю 4 кВт та засувку шиберну





електропривідну потужністю 0,37 кВт. Потім, через бункер маса рухається на засушку шиберну ручну та засувку шиберну електропривідну. Рух маси до бункера оперативного паливного з об'ємом 12 м³ відбувається через дробарку роторну з продуктивністю 4 т/год. та потужністю 22 кВт. Загалом, описаний процес руху зернової маси зображено на рисунку 3.3. Потім зернова маса рухається до теплогенератора.

Подальший рух зернової маси супроводжується по відповідним ємностям. На рисунку 3.4. представлено діапазон технологічної схеми від описаного згідно з рисунком 3.3 бункера до:

- теплогенератора;
- теплообмінного блоку;
- компресорної установки;
- фільтра «рукавного»
- труби димової.

Опис та основні параметри технологічного обладнання, задіяного в процесі роботи теплогенеруючого пункту, представлено в таблиці 3.1 з експлікацією обладнання.

Згідно з обраною класифікацією від розробника проекту, на схемі технологічній визначено такі умовні позначення:

- паливо  ;
- повітря  ;
- димові гази  ;
- зола  .

Поз.	Наменування	Позначення	Кількість	Маса од., кг	Примітки
ТГ	Теплогенератор, 15 МВт	Тефф ТГ-15	1	39 650	
ТГ.П	Пальник вихровий, 15 МВт	Тефф ПВГ-15	1	8 000	
ТГ.КП	Конвеєр гвинтовий паливопідачі, (5,5+1,1) кВт	Тефф	1	700	
ТГ.В1	Вентилятор відцентровий, 90 кВт	ВДН106-39-8-1-П135-90/3000	1	850	
ТГ.В2	Вентилятор відцентровий, 75 кВт	ВДН106-39-8-1-П135-75/3000	1	800	
ТГ.К	Камера змішувальна трикамерна	Тефф ТГ-15/3	1	30 000	
Т0	Теплообмінний блок, 10 МВт	Тефф Т0Б-10	1	37 500	
Т0.ТТ	Теплообмінник трудиний, 180 м ³	Тефф ТТ-180	6	4 500	
Т0.Б1	Блок імпульсного очищення	Тефф Б1-2-170/5Т	5	1 500	
Т0.ВЗ.4	Вентилятор відцентровий, 60 тис.м ³ /год, 3,7 кПа, 110 кВт	Укрвентсистеми ВДН106-39-12,5-1-10-110/1500	2	1 500	
ДР	Дробарка ротарна, 4 т/год, 22 кВт	Neuego RVO-85	1	350	
К1	Компресорна установка		1		
К1К	Компресор гвинтовий, 370 м ³ /год, 37 кВт	Компресор Пармс JF-50A	1	750	
К1О	Осушувач стисненого повітря, 1 кВт	Компресор Пармс 50АС	1	100	
К1Р	Ресивер, 600 л	Компресор Пармс РВ900.800	1	200	
Ц1	Батарейний циклон	ЦБ-56	1	5 000	
Ф1	Фільтр "рукавний" 6,44 кВт	Енергомашекологія ФРЧ-800	1	26 000	
Ф.ЗП1.2	Затвор поворотний 900х100	Енергомашекологія	2	4 100	К-кт Ф1
Ф.ЗП3	Затвор поворотний 900х900 подвійний	Енергомашекологія	1	650	К-кт Ф1
В5	Димосос відцентровий, 55 тис.м ³ /год, 5,0 кПа, 250 кВт	ДН106-39-15-3-П135-250/1500	1		
В5.В	Кишеня всмоктувальна	Укрвентсистеми	1		
ДТ	Труба димова, Ø820, 28 м	Тефф	1		
Б1	Бункер оперативний палива, 12 м ³	Тефф	1	8 200	3 паливом
Б2	Бункер оперативний гранульованого палива, 15 м ³	Тефф	1	1 000	3 паливом
Б3	Бункер оперативний золи, 3 м ³	Тефф	1	4 000	3 золою
ЗСВ1.2	Зслінка жалюзійна ручна		2		
ЗС1.2	Засушка шиберна ручна		2		
ЗСе1.2	Засушка шиберна електропривідна 0,37 кВт		2		
ЗСШе	Залінка шлюзова електропривідна 0,55 кВт		1		
РХ	Конвеєр "рухоме дно", 18 кВт	Тефф	1		
КС1	Конвеєр стрічковий, 4 кВт		1		
КС2	Конвеєр скрепковий, 4 кВт		1		
КГ2.3	Конвеєр гвинтовий, 2,2 кВт	Тефф	2		
КГ4	Конвеєр гвинтовий, 4 кВт		1		
КГ5	Конвеєр гвинтовий, 4 кВт		1		
КК1	Конвеєр ковшовий двобалансовий, 5,5 кВт		1		
КК2	Конвеєр ковшовий ланцюговий, 5,5 кВт		1		

Таблиця 3.1. Експлікація обладнання для теплогенеруючого пункту смт. Степанівка

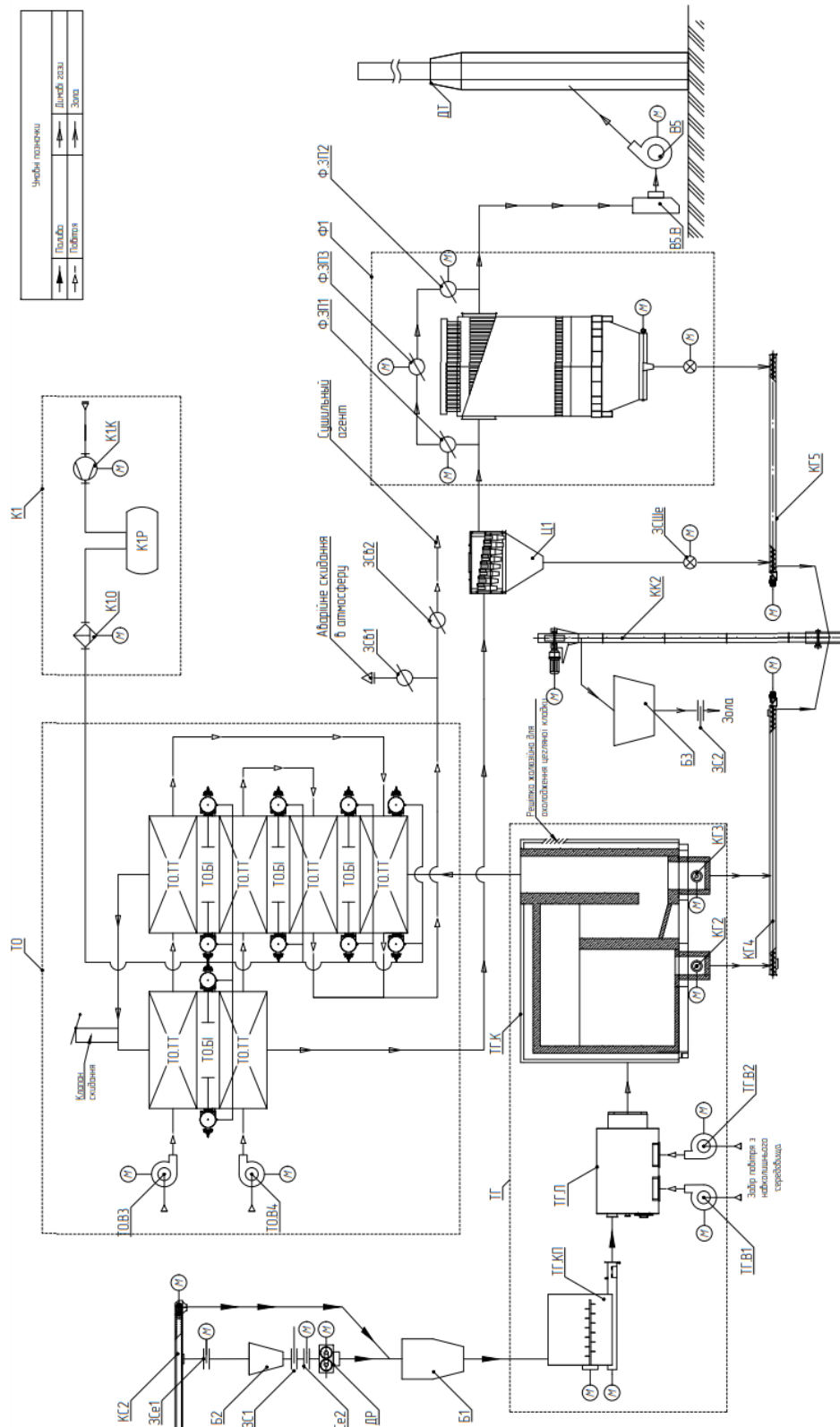


Рисунок 3.4. Работа теплогенерирующего пункта. ТГ – теплогенератор; ТО – теплообмінний блок; К1 – компресорна установка; Ф1 - Фільтр «рукавний»; ДТ – труба димова

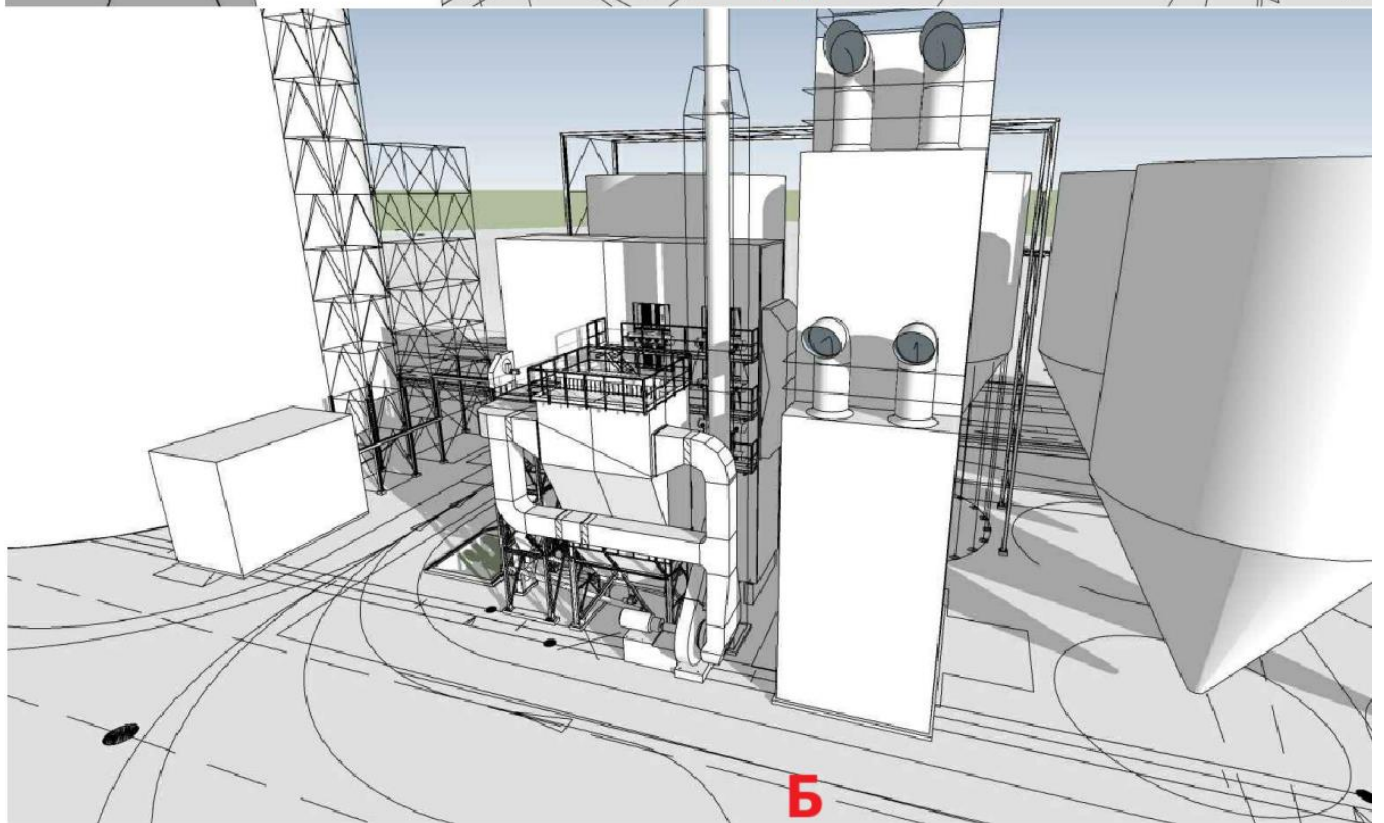
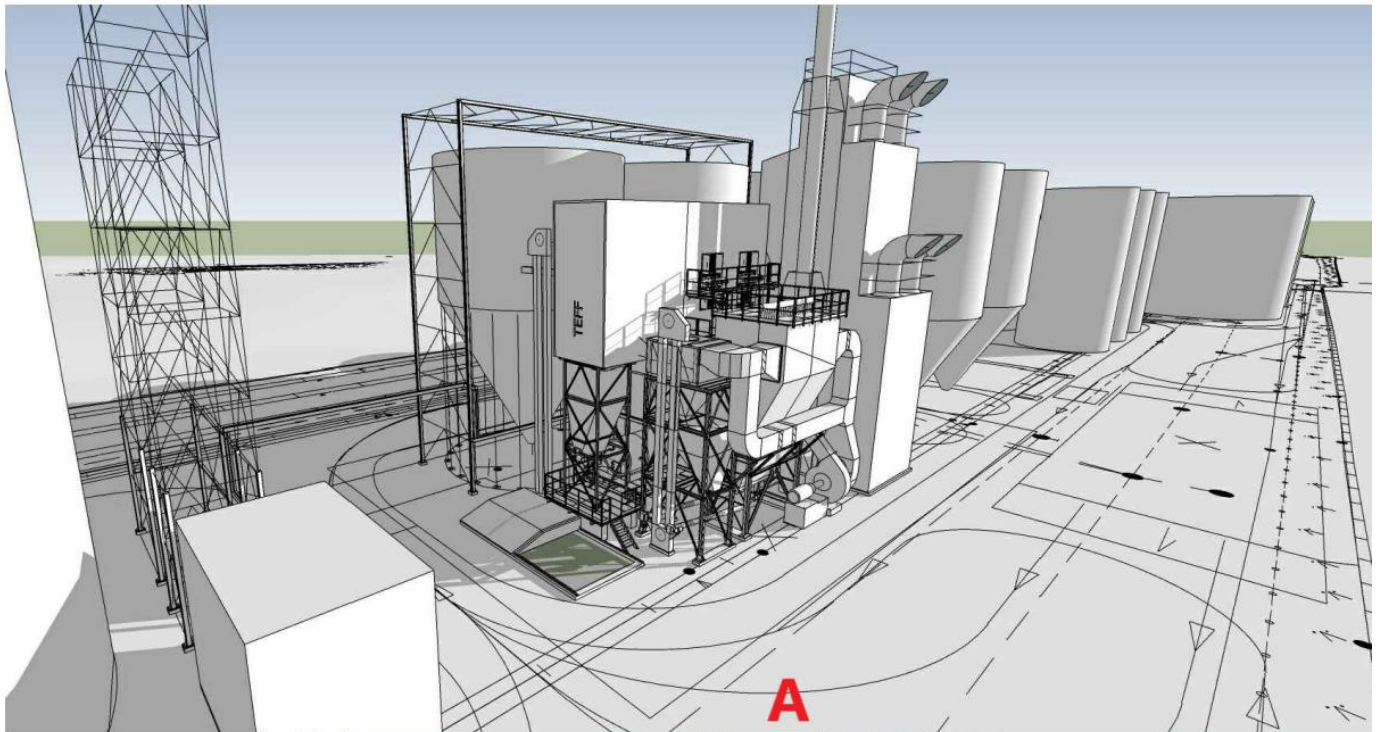


Рисунок 3.5. Перспективний вид комплексу. А – загальом; Б – вигляд справа

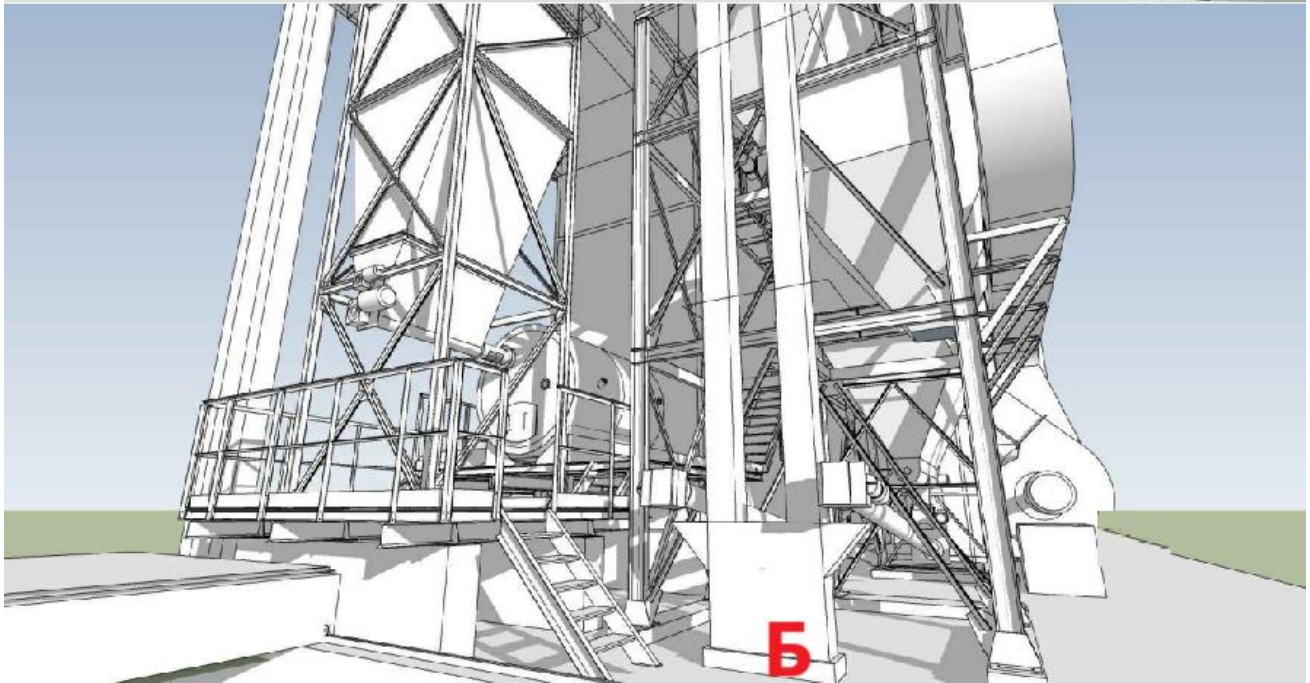
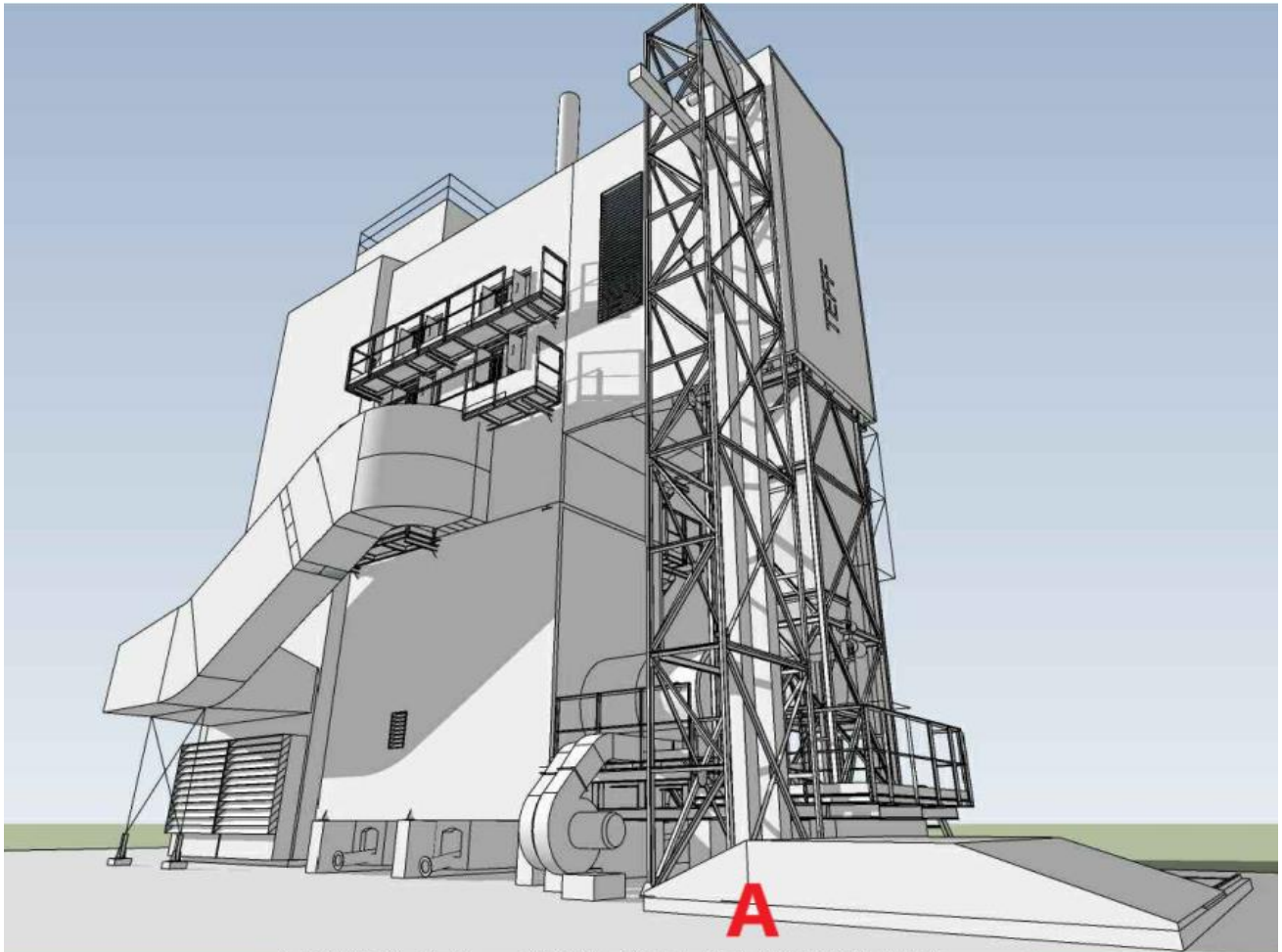


Рисунок 3.6. Перспективний вид комплексу. А – вигляд зліва; Б - пильник теплогенератора

Описані в роботі технологічні рішення з точки зору представленої технологічної схеми дають повною мірою можливість автоматизованого керування технологічним процесом сушіння зерна. Одночасно із цим, відбувається повнв сигналізація щодо перебігу процесу сушіння.

Для прикладу, робота автоматизованої системи представлена на рисунку 3.7. На табло зображено перебіг основних процесів по теплоенергетичній установці та цифрові позначення відповідного обладнання в обраний момент часу.



Рисунок 3.7. Автоматизація процесу керування теплогенеруючим пунктом

З рисунку 3.7, де зображено табло керування установкою, є можливість чітко виокремити основні параметри роботи системи. Зокрема, до таких параметрів відносяться низка температурних показників зернової маси, а також теплових носіїв, швидкість обертання кожного з приводних електричних двигунів шляхом зміни частоти електричного поля при їх обертанні, тиск всередині ємностей та відповідних трубопроводів та інше.

Автоматизація такого процесу дає свої чіткі переваги, за рахунок чого є можливість отримання порівняно високого коефіцієнту корисної дії такої системи з сушки зерна.

У якості приводних електричних двигунів використано асинхронні електричні двигуни різної потужності. Зокрема, для приводу відповідних вузлів використано двигуни такої потужності:

- вентилятор відцентровий, 90 кВт;
- вентилятор відцентровий, 75 кВт;
- вентилятор відцентровий, 60 тис.м³/год, 3,7 кПа, 110 кВт;
- дробарка роторна, 4 т/год., 22 кВт;
- компресор гвинтовий, 370 м³/год., 37 кВт;
- димосос відцентровий, 55 тис.м³/год, 5.0 кПа, 250 кВт;
- засувка шиберна електропривідна 0,37 кВт;
- залінка шлюзова електропривідна 0,55 кВт;
- конвеєр "рухоме дно", 18 кВт;
- конвеєр стрічковий, 4 кВт;
- конвеєр скребковий, 4 кВт;
- конвеєр гвинтовий, 2,2 кВт;
- конвеєр гвинтовий, 4 кВт;
- конвеєр гвинтовий, 4 кВт;
- конвеєр ковшовий дволанцюговий, 5,5 кВт;
- конвеєр ковшовий ланцюговий, 5,5 кВт.



Рисунок 3.8. Приводні електричні двигуни теплогенеруючого пункту



Рисунок 3.9. Щити електричні керування теплогенеруючим пунктом

В щитах електричних керування теплогенеруючим пунктом зосереджено основне устаткування, що використовується з метою управління, а також елементи автоматизації, моніторингу та сигналізації. Зокрема, на рисунку 3.9 зображено автоматичні вимикачі, електромагнітні пускачі, клемні колодки, трансформатори, запобіжники, вентилятори і т.п.

Таким чином, реалізація процесу керування теплогенеруючим пунктом відбувається шляхом використання набору сучасного обладнання, у тому числі, і засобів автоматизації. Здійснення даного процесу відбувається як в ручному, так і в автоматизованому режимах. Виконання усіх функцій реалізується з одного табло з постом керування для оператора теплогенеруючого пункту.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Робота людини з такими технологічними установками, як зернові сушарки, супроводжується різного роду негативними факторами, що погано відображаються на здоров'ї людини. Приміром, використання техніки, що працює під високою напругою, зумовлює небезпеку ураження електричним струмом. Аналогічним чином, обертання рухомих гострих органів установки також може призводити до травмування або взагалі непрацездатного стану у людини. Тому, актуальним завданням є аналіз негативних чинників, що можуть бути виявленими впродовж процесу роботи з олійним пресом для здоров'я людини.

До факторів негативного впливу відносимо:

- небезпека від роботи з електричним струмом;
- робота за високих температур;
- рухомі органи;
- техніка високого тиску;
- маслянисті та слизькі поверхні;
- пари, концентрація різних бактерій, відходів, хвороботворних організмів тощо.

З метою зменшення негативного впливу на здоров'я людини необхідним є комплексний підхід в реалізації такого зменшення. Для прикладу, проведення різного роду інструктажів дає можливість зменшити згубний вплив на здоров'я людини шляхом ознайомлення її з обладнанням та правилами безпечного з ним поводження. Не мало важливим є той фактор, що інструктажі проводяться уповноваженими та спеціально навченими спеціалістами в даній галузі.

Зменшення впливу може бути реалізованим за рахунок проходження курсів підвищення кваліфікації та стажування на відповідних підприємствах та установах. Для прикладу, передовими виробниками подібної техніки регулярно проводяться

демопокази та інші ознайомчі заходи по предствленню техніки і способів роботи з нею.

Важливим етапом в зменшенні негативного впливу на людину є використання засобів колективного та індивідуального захисту для персоналу, задіяного в даних видах роботи. Такими засобами є можливість уникнення негативного впливу на людину від:

- шуму;
- вібрації;
- вологи;
- обертових частин;
- електричного струму.

Тому, зменшення негативного впливу є обов'язковим завданням для кожного керівника установи та відповідного по даним питанням заступника.

РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ ТА ПОКАЗНИКИ ПРОЕКТУ

Здійснення економічного обґрунтування існуючої системи по зерновій сушарці є можливість реалізувати шляхом розрахунку затрат на оплату праці для персоналу, задіяного при її технічному обслуговуванні за один період роботи зернової сушарки.

Розрахунок здійснимо за такою схемою:

Структура капіталовкладень по технічному обслуговуванню K ділиться на 2 основні елементи:

$$K = K_{\text{обл}} + K_{\text{зп}}, \quad (1)$$

де: $K_{\text{обл}}$ – капіталовкладення на придбання обладнання;

$K_{\text{зп}}$ – капіталовкладення по заробітній платі.

Розглянемо більш детально кожну із даних складових по певному переліку позицій.

Витрати $K_{\text{обл}}$ включають вартість:

- затратні матеріали;
- необхідні КВП та інструмент.

Знаходимо капіталовкладення:

$$K_{\text{об}} = \sum n, \text{ грн} \quad (2)$$

$$K_{\text{об}} = 125000 + 45000 = 170000 \text{ грн}$$

Капіталовкладення заробітній платі розраховується згідно з терміном роботи та тарифною ставкою за 1 годину:

- витрати в будівництво нових, розширення, реконструкції й технічного переозброєння постійної і тимчасової будівель та споруд;

- монтаж конструкцій і обладнання;
- спорудження інфраструктури та комунікацій.

$$K_{\text{зп}} = T \cdot n \cdot k, \text{ грн, де} \quad (3)$$

T – тарифна ставка;

n – кількість робочих годин;

k – кількість персоналу, задіяного в технічному обслуговуванні установки.

$$K_{\text{зп}} = 200 \cdot 50 \cdot 3 = 30000 \text{ грн,}$$

Знаходимо загальну суму капіталовкладень:

$$K = 170000 + 30000 = 200000 \text{ грн}$$

ВИСНОВКИ

Вирішення важливих питань для сільськогосподарського виробництва відбувається шляхом автоматизації процесів керування та вдосконалення існуючих методів отримання необхідної якості врожаю. В даній роботі обґрунтовано параметри керування теплогенеруючим пунктом для шахтної зернової сушарки смт. Степанівка Сумського району.

В першому розділі піднято важливе питання виконання операцій сушіння зернової маси, яка може бути зібраною з високою вологістю. Підкреслено, що це є перешкодою для довготривалого зберігання зерна та унеможливлення його використання. Обґрунтовано основні параметри для сушок зерна, а також звернено особливу увагу саме на шахтні сушарки зерна з визначенням їх переваг та недоліків у порівнянні з іншими видами сушок.

В другому розділі з використанням публікацій закордонних авторів висвітлено необхідність використання сушок зерна, а також їх параметри процесів керування та забезпечення.

У третьому розділі представлено діючі фото шахтної зерносушарки, де описано основні параметри керування нею. З використанням проекту на дану установку представлено схему технологічну процесу роботи теплогенеруючого пункту, а також перспективні види на комплекс. Перераховано приводні електричні двигуни, які використовуються для забезпечення процесів роботи теплогенеруючого пункту.

Отже, автоматизація процесів є важливим елементом функціонування елеваторів з використанням шахтних сушарок зерна та новітніх технологій і її реалізації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Thorpe, G.R. (1987). Research paper The thermodynamic performance of a continuous-flow fluidized bed grain disinfectant and drier☆. Journal of Agricultural Engineering Research, 37. [https://doi.org/10.1016/0021-8634\(87\)90129-6](https://doi.org/10.1016/0021-8634(87)90129-6)
2. Mellmann, J., Iroba, K.L., Metzger, T.G., Tsotsas, E., Mészáros, C., & Farkas, I. (2011). Moisture content and residence time distributions in mixed-flow grain dryers. Biosystems Engineering, 109, 297-307. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2011.04.010>
3. Mellmann, J., Kocsis, L., Gottschalk, K., Mészáros, C., & Farkas, I. (2008). Development of the Heat and Mass Transfer Model for Mixed-Flow Grain Dryer. IFAC Proceedings Volumes, 41, 9591-9595. <https://doi.org/10.3182/20080706-5-KR-1001.01622>
4. Sammy Sadaka, Digvir S. Jayas (2022) Chapter 10 - Cereal grain drying systems. Storage of Cereal Grains and Their Products (Fifth Edition) 2022, Pages 293-329 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812758-2.00008-8>
5. (2019). Handbook of Farm, Dairy and Food Machinery Engineering. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814803-7.00009-9>
6. Boller, A.P. (1866). Grain elevators, cleaners, and dryers. [https://doi.org/10.1016/0016-0032\(66\)90621-1](https://doi.org/10.1016/0016-0032(66)90621-1)
7. Шахтні зерносушарки. Електронний ресурс. URL: <https://finpro.group/uk/wiki-uk/zernosusharki/typy-zernosusharok/shahtniye>
8. ДСТУ 3768:2019 Пшениця. Технічні умови
9. ДСТУ 7011:2009
10. ДСТУ 7734:2015 Метрологія. Установки повітряно-теплові для вимірювання вологості зерна та продуктів його перероблення.
11. ДСТУ EN ISO 712:2022 «Зернові культури та продукти із них. Визначення вмісту вологи. Еталонний метод»

12. ДСТУ ISO 665:2008 «Насіння олійних культур. Визначення вмісту вологи та летких речовин»
13. Станкевич Г.Н., Страхова Т.В., Атаназевич В.І. Сушка зерна: Посібник. — К.: Лебідь, 1997. — 352 с. ISBN 966-06-0012-7.
14. ДСТУ 4138-2002 «Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості»
15. Яковенко А.І., Борта А.В., Технологія зберігання та сушіння зерна: кількісно-якісний облік зерна, 2016, Одеса, 174 с.
16. ДСТУ ISO 6540:2007
17. Система Б А. Введено: «ІМЦ» (г. Київ, 3.2 просп. Червоної вездни й, 51; т/ф. 391- 42- 10) -12:2009 стандартів безпеки праці СИСТЕМИ ВЕНТИЛЯЦІЙНІ Загальні вимоги ДСТУ
18. ПУЕ Правила улаштування електроустановок (перше переглянуте, перероблене, доповнене та адаптоване до умов України видання). 21.08.2017. Міністерство енергетики та вугільної промисловості України
19. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (2029). Державний нормативний акт про охорону праці
20. СНиП III-4-80* Правила виробництва і приймання робіт. Техніка безпеки в будівництві (НПАОП 45.2-7.02-80)
21. В.І. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед, Автоматизація виробничих процесів, 2024, Ліра-К, 378 с.