

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМ. С.З. ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

на тему: **«Автоматизація технологічного процесу сушіння зерна
соняшника»**

Виконав: студент групи Акт-42сп

Спеціальності 174 Автоматизація, комп'ютерно-
інтегровані технології та робототехніка

(шифр і назва)

Миронів Михайло Богданович

(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент Падюка Р.І.

(Прізвище та ініціали)

ДУБЛЯНИ-2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНЕОЛОГІЙ
КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Перший (бакалаврський) рівень вищої освіти
Спеціальність «174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри _____

д.т.н., проф. А. М. Тригуба

« ____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту

Мироніву Михайлу Богдановичу

1. Тема роботи: «Автоматизація технологічного процесу сушіння зерна сояшника»

Керівник роботи Падюка Роман Іванович, доцент
затверджені наказом по університету від 25.02.2025 року № 123/к-с.

2. Строк подання студентом роботи 10.06.2025 р.
3. Вихідні дані до роботи: вимоги до проектування інформаційних систем; методика проектування автоматизованих систем; технічні вимоги до технологічного процесу сушіння зерна сояшника, технічні характеристики обладнання для автоматизації процесу.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити) _____
Вступ.
1. Аналіз предметної області та особливостей технологічного процесу
2. Розробка функціональної схеми автоматизації технологічного процесу та вибір технічних засобів
3. Проектування автоматизованого технологічного процесу сушіння зерна сояшника
4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях
Висновки та пропозиції.
Список використаної літератури.
5. Перелік ілюстраційного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Об'єкт і предмет дослідження, фізико-хімічні властивості, методи

сушіння, температурний режим, вибір сушарки, візуалізація процесу, система управління, схема керування сушаркою, вибір контролера, алгоритми роботи, SCADA-система, висновки, завершення

6. Консультанти з розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1, 2, 3	<i>Падюка Р.І., доцент кафедри ІТ</i>		
4	<i>Городецький І.М., доцент кафедри інженерної механіки</i>		

7. Дата видачі завдання

26 лютого 2025 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Написання першого розділу</i>	<i>26.02.25-20.03.25</i>	
2	<i>Виконання другого розділу та аркушів ілюстраційного матеріалу до нього</i>	<i>21.03-15.04.25</i>	
3.	<i>Виконання третього розділу та аркушів ілюстраційного матеріалу до нього</i>	<i>16.04-30.04.25</i>	
4.	<i>Написання розділу «Охорона праці»</i>	<i>01-15.05.25</i>	
5.	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та аркушів ілюстраційного матеріалу</i>	<i>15-30.05.25</i>	
6.	<i>Завершення роботи в цілому</i>	<i>01 - 10.06.25</i>	

Студент _____ Миронів М. Б.
(підпис)

Керівник роботи _____ Падюка Р.І.
(підпис)

УДК 681.5:664.7.038.3

Автоматизація технологічного процесу сушіння зерна соняшника.
Миронів М. Б. Кафедра ІТ – Дубляни, Львівський НУВМБ ім. С.З.
Гжицького, 2025.

Кваліфікаційна робота: 64 с. текст. част., 24 рис., 9 табл., 12 арк.
ілюстраційного матеріалу, 25 джерел.

У кваліфікаційній роботі досліджено особливості сушіння насіння соняшника та обґрунтовано технічні рішення щодо автоматизації цього процесу. Визначено фізико-хімічні та теплофізичні властивості насіння, що впливають на ефективність термічної обробки, зокрема враховано вміст вологи, структуру зерна та коефіцієнти теплопровідності. Проаналізовано існуючі методи сушіння, зокрема шахтні сушарки, а також виділено їх переваги з точки зору енергоефективності та збереження якості продукції.

Розроблено структуру автоматизованої системи керування сушінням, що включає програмований логічний контролер Siemens S7-1200, сенсорні пристрої, засоби регулювання температури та вологості, а також систему візуалізації процесу. Сформовано алгоритм керування сушильними циклами із забезпеченням зворотного зв'язку та адаптацією до зміни властивостей сировини. Впровадження запропонованої системи дозволяє підвищити точність сушіння, зменшити витрати енергоресурсів та зберегти якість насіння під час тривалого зберігання.

Запропоновано заходи з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

Ключові слова: автоматизація, сушіння зерна, соняшник, програмований логічний контролер, шахтна сушарка

Key words: automation, grain drying, sunflower, programmable logic controller, shaft dryer.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	8
1.1 Властивості насіння соняшнику	8
1.2 Особливості технології сушіння соняшнику	9
1.3 Аналіз технологічного процесу сушіння олійних культур та огляд системи функціонування цього процесу	16
1.4 Технічні умови на систему автоматизації сушіння насіння соняшнику....	19
2. РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ	20
2.1. Обґрунтування та критерії вибору параметрів контролю технологічного процесу сушіння	20
2.2. Розробка функціональної схеми системи автоматизації технологічного процесу сушіння насіння соняшнику	21
2.3. Вибір технічних засобів автоматизації процесу сушіння насіння соняшнику.....	24
2.4. Вибір програмованого логічного контролера (ПЛК) разом із додатковими модулями керування виходом та інтерфейсними модулями.....	33
3. ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ЗЕРНА СОНЯШНИКА.....	40
3.1 Розробка схем керування процесом сушіння зерна соняшника.	40
3.2 Реалізація елементів SCADA системи шахтної сушарки насіння соняшнику	45
3.3 Вибір і побудова схеми мережі для зв'язку з елементами системи	47
3.4 Розробка алгоритмів роботи елементів автоматизованої системи сушіння зерна соняшника.....	49
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	54

4.1. Структурно-функціональний аналіз виробничого процесу та розроблення моделі травмонебезпечних ситуацій	54
4.2. Вимоги техніки безпеки під час роботи обладнання та протипожежні заходи.....	56
4.3. Розрахунок штучного заземлення.....	57
4.4. Захист цивільного населення.....	58
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	62

ВСТУП

В умовах інтенсивного розвитку агропромислового комплексу особливого значення набуває автоматизація технологічних процесів, що дозволяє підвищити ефективність виробництва, знизити витрати ресурсів та забезпечити стабільну якість продукції. Однією з важливих ланок післязбиральної обробки сільськогосподарських культур є процес сушіння зерна, зокрема зерна соняшника, яке є стратегічно важливим ресурсом для харчової, олійної та кормової промисловості.

Сушіння соняшника — це енергоємний і технологічно складний процес, що вимагає чіткого контролю температури, вологості та витрати повітря. Недостатнє або надмірне сушіння може призвести до значних втрат якості продукції, її псування або перевитрати енергоресурсів. У зв'язку з цим виникає необхідність у впровадженні сучасних систем автоматизованого керування, які забезпечують стабільні параметри процесу, оперативну зміну режимів роботи залежно від поточних умов та зменшення людського фактору в управлінні.

Автоматизація сушильних установок дозволяє реалізувати точне дозування теплової енергії, оптимізувати витрати пального або електроенергії, а також підвищити продуктивність обробки зерна. Вона забезпечує не лише економічну доцільність, а й екологічну безпеку виробничого процесу завдяки зниженню шкідливих викидів і втрат матеріалу.

Актуальність обраної теми зумовлена необхідністю модернізації існуючих сушильних комплексів шляхом впровадження інтелектуальних систем керування, що ґрунтуються на сучасних програмованих логічних контролерах (ПЛК), сенсорних технологіях та SCADA-системах. Такий підхід відкриває можливості для інтеграції сушильного обладнання в загальну систему управління виробничим підприємством, забезпечуючи збирання даних, аналітику та дистанційний контроль.

РОЗДІЛ 1.

АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

1.1. Властивості насіння соняшнику

Проблеми, пов'язані з переробкою насіння соняшнику, пов'язані з його фізичними характеристиками та відмінностями, які вони представляють у порівнянні зі зерновими культурами, такими як зменшення маси, різні хімічні властивості та наявність домішок.

Основна проблема полягає в складі насіння соняшнику, який характеризується повітряним прошарком, розташованим між ядром і околоплодником, у поєднанні зі значним вмістом жиру. Ця комбінація пояснює нижчу швидкість спливання насіння соняшнику порівняно з зерном.

Якщо припустити, що всі фактори постійні, рівень вологи в олійних культурах вдвічі менше, ніж у зернових. Цю різницю можна пояснити зниженою присутністю гідрофільних колоїдів в олійних культурах у поєднанні з вищим вмістом жиру. Із збільшенням вмісту олії в насінні рівноважна вологість насіння соняшнику зменшується; це відбувається тому, що збільшення олії корелює зі зменшенням гідрофільних речовин і відповідним підвищенням гідрофобних речовин. [21] Тому важливо вибрати відповідний метод сушіння, зокрема сушіння з наступним охолодженням. У процесі сушіння насіння протягом певного часу піддається нагріванню, що змушує вологу з ядра мігрувати в область між оболонкою та ядром. Одночасно волога із захисної оболонки переміщується на поверхню, звідки потім видаляється з насіння.

До первинних теплофізичних властивостей, які впливають на теплообмінну здатність насіння олійних культур, належать теплоємність, коефіцієнти теплопровідності та температуропровідності. Хоча теплофізичні властивості, які визначають швидкість процесів нагрівання та охолодження, відрізняються для окремих сім'янок і маси насіння, вони в основному

визначаються такими факторами, як розмір насіння, вміст вологи, хімічний склад, вміст олії, лужність і температура в обох випадках. [21]

1.2. Особливості технології сушіння соняшнику

Характеристики сушіння насіння соняшнику залежать від їхніх специфічних властивостей, у тому числі гетерогенності насіння, що складається з ядра, плодів і насінневої оболонки, а також від їх природних коливань розміру, маси та вмісту вологи. Додаткові фактори, такі як низька міцність плодової оболонки, інерція вологи, низька теплопровідність і термостійкість білкових і ліпідних компонентів у системі, поряд із підвищеним ризиком пожежі, вимагають особливих міркувань щодо техніки сушіння та конструкції сушильного обладнання. Отже, важливо дотримуватися параметрів, які підвищують якість: забезпечення цілісності захисного шару, збереження цілісності початкового вмісту олії та запобігання утворенню кислого вмісту олії.

Сушіння передбачає передачу тепла від повітряного середовища через матеріал, що сприяє випаровуванню, а також переміщення вологи від ядра до його захисного зовнішнього шару. Випаровування вологи головним чином регулюється двома процесами: вологопровідністю та теплопровідністю вологи, які описують внутрішню передачу тепла та вологи у вологому матеріалі. Коли волога випаровується, зовнішні шари матеріалу стають сухими, що призводить до встановлення градієнту вмісту вологи, коли внутрішні секції зберігають більше вологи, ніж поверхня. Це явище, відоме як провідність вологи, спонукає рух вологи від внутрішніх шарів до зовнішніх, при цьому цей перехід стає більш вираженим із підвищенням температури матеріалу. [21]

Оптимальний спосіб ефективного сушіння насіння соняшнику передбачає відбір вологи в середньому 5–6 % за масовий прохід. Продукт проходить 2-3 проходи через сушильний шар, процес, який сприяє поступовому видаленню вологи та забезпечує ретельне сушіння. Крім того, безперервне перемішування продукту під час цих повторюваних циклів покращує обмін

тепла та вологи, забезпечуючи швидке вилучення вологи та запобігаючи пересушуванню насіння соняшнику.

Після збору врожаю насіння переміщується в елеватор із змінним рівнем вологості. Перед сушінням партії соняшнику необхідно визначити відповідний температурний режим сушіння. Зокрема, сушіння соняшнику з вологістю 25% при температурі від 130 до 135 градусів може призвести до розтріскування захисної оболонки та зміни хімічного складу зерна. Отже, дуже важливо вибрати температуру, яка відповідає кожному конкретному відсотку вологості.

Таблиця 1.1. Ідеальні температури для сушіння соняшнику при різному відсотковому вмісті вологи.

Вологість насіння %	Максимальна температура сушильного агента	
	Перша зона сушіння (°C)	Друга зона сушіння(°C)
15%	120	135
15-20%	115	130
20-25%	110	125
25% і більше	105	115

Одним із найефективніших способів сушіння соняшнику є використання шахтних сушарок, що дозволяє підвищити технологічні властивості, підвищити стабільність і якість для подальшого зберігання та подальшої утилізації. Використовуючи шахтну сушарку для сушіння соняшнику, важливо дотримуватися певних параметрів, зокрема температурних показників і тривалості, необхідної для досягнення необхідного відсотка зниження вологи. Крім того, слід звернути особливу увагу на коефіцієнт теплопровідності як для окремих насіння, так і для щільних шарів. Дуже важливо уникати різких початкових змін температури, щоб запобігти пошкодженню хімічного складу насіння; замість цього рекомендується поступове підвищення температури до визначених рівнів. Крім того, вкрай важливо, щоб процес сушіння був енергоефективним, мінімізуючи споживання електроенергії та палива.

Сушка являє собою процес термічної дегідратації твердих матеріалів, що включає випаровування вологи та подальше видалення пари, що утворюється. Одночасно всередині речовини відбувається теплообмін і дифузія вологи. Ефективність процесу сушіння оцінюється тривалістю, необхідною для зниження вологості матеріалу від початкового значення M_n до кінцевого значення M_k . Переважаючим способом сушіння зерна є конвективне сушіння, яке передбачає передачу тепла зерну через суміш димових газів і повітря або через чисте нагріте повітря, що утворюється в нагрівачах. Важливо підкреслити, що в широко поширених конвективних шахтних зерносушарках також присутні як кондуктивне сушіння (з використанням нагрітих боксів), так і контактне (сорбційне) сушіння, коли зерно взаємодіє з зерном у місцях барабана, які не піддаються потоку повітря. У процесі конвективного сушіння зерно може перебувати в різних конфігураціях залежно від типу використовуваної зерносушарки: нерухомий шар (як це видно в камерних зерносушарках), малорухливий шар (характерний для шахтних зерносушарок) або падаючий шар (типовий для рециркуляційних зерносушарок).

На швидкість кондуктивного сушіння впливає як температура поверхні нагріву, так і товщина шару зерна. Цей спосіб сушіння застосовують на круп'яних і борошномельних підприємствах для полегшення прогрівання і сушіння зерна. У південних регіонах нашої країни використовується ефективна та енергоефективна технологія сонячної сушки; однак цей метод має обмежену ефективність, не має можливостей механізації, залежить від погодних умов і, отже, не широко використовується.

Найефективніший спосіб сушіння зерна полягає в поєднанні конвективного і контактного методів, особливо при використанні сушарки в щільних, рухомих і спадаючих шарах. Конвективне сушіння в щільному нерухомому шарі набуло поширення для сушіння сортового насіння кукурудзи в качанах, а також інших зерен з використанням камерних зерносушарок типу СКП. Ці сушарки працюють з товщиною продувного шару від 1,5 до 3,5 метрів і витратою сушильного агента від 500 до 1000 $\text{м}^3/(\text{год} \cdot \text{т})$ зі швидкістю 0,2-0,3 м/с.

Активна вентиляція використовується, коли необхідно висушити зерно (з рівнем вологості до 18%) і охолодити його, що зазвичай застосовується на складах, елеваторах і платформах. У щільному фіксованому шарі взаємодія між зернами та поверхнею, що піддається впливу агента сушіння, залишається постійною. На ефективність сушіння у нерухомому шарі впливає зовнішній тепло- та вологообмін між зерном і сушильним агентом, з особливим акцентом на температурі та об'ємі введенного сушильного агента. У процесі сушіння в щільному нерухомому шарі використовуються низькі температури сушильного агента, які майже еквівалентні максимально допустимій температурі нагріву зерна.

Процес сушіння в щільному нерухомому шарі для кукурудзи в качанах триває до 100 годин, а для зерна кукурудзи – від 10 до 20 годин. Серед різноманітних методів сушіння зерна значну популярність набув гравітаційний щільний шар з низьким рухом. У техніці сушіння зерна особливо поширені шахтні зерносушарки, які характеризуються шаховим розташуванням живильних і розвантажувальних камер. У цих шахтних зерносушарках зерно опускається зверху вниз, послідовно переміщаючись через численні поперемінно змінювані короби подачі та вивантаження. Ця конструкція сприяє прямій, протитечійній або перехресній взаємодії між сушильним агентом і рухомим потоком зерна.

У міру продування сушильного агента через зерно утворюються активні зони впливу. Зони, найближчі до ящиків подачі, зазнають найвищих температур від сушильного агента, тоді як зони поблизу розвантажувальних коробів піддаються нижчим температурам, приблизно еквівалентним температурі самого зерна кукурудзи. Конфігурація коробок подачі та розвантаження в шаховому порядку допомагає пом'якшити ці температурні зони шляхом змішування зерна кукурудзи.

У зоні живильного ящика зерно піддається максимальному нагріванню. Між зоною нагнітання та подачі спостерігається різниця температур 20 °С. Сушіння відбувається в межах гравітаційного щільного шару з низьким рухом за

допомогою сушильного агента, який складається з чистого нагрітого повітря та суміші повітря з димовими газами. Цей осушувач функціонує як теплоносіє, так і вологоносіє. Важливо, щоб температура сушильного агента не опускалася нижче певних порогів; зниження температури призводить до підвищення відносної вологості і зниження вологоємності.

Після процесу сушіння в сушильній шахті зерно охолоджується в охолоджувальній шахті, яка виконана подібно до сушильної шахти. У зоні охолодження через зерно продувається атмосферне повітря. Коли повітря рухається через шар зерна, його температура і вологоємність зростають, що призводить до додаткового випаровування вологи із зерна при одночасному його охолодженні. Конвективний спосіб сушіння зерна також сприяє знезараженню зерна від шкідників, присутніх у зерні, що зберігається, а також прискорює процес післязбирального дозрівання.

Ефективність процесу сушіння залежить від точного регулювання як температури сушарки, так і зерна. Найбільш часто використовуваним методом сушіння є конвективний метод, який використовує поєднання димових газів і повітря. Тим не менш, в останні роки відбувся помітний зсув у бік використання теплогенераторів, які працюють на чистому повітрі завдяки їх підвищеній ефективності. Такий підхід не тільки підтримує якість зерна, але й сприяє пожежній безпеці, усуваючи прямий контакт між зерном і димовими газами.

Крім того, утворення нагрітого повітря як осушувача дозволяє спалювати низькосортне паливо, таке як мазут, вугілля, торф і різні відходи виробництва. Навпаки, сушіння сумішшю димових газів і повітря створює ризик займання зерна та пожежі через можливу присутність іскор незгорілого палива, що вимагає додаткових заходів пожежної безпеки. Комбінований метод сушіння включає в себе як конвективне сушіння — з низькорухливим щільним шаром поряд із шаром, що падає, — так і контактне сушіння, яке передбачає рециркуляцію між холодним сирим зерном і нагрітим сухим зерном.

Насіння соняшнику сушать при температурі теплоносія 50–55 °C при вологості зерна нижче 14 %. Для зерна з вологістю від 14% до 20% сушіння

відбувається при 46-50 °С, а для зерна з вологістю понад 20% температура не повинна перевищувати 43-45 °С. Такий спосіб сушіння ідеально підходить для збереження властивостей насіння і створення умов, сприятливих для тривалого зберігання. У разі промислового сушіння зерна використовується температура охолоджувача 140–180 °С, що гарантує вилучення не більше 10% вологи за один цикл.

У хімічному секторі переважаючим методом сушіння є конвективне сушіння, яке виконується за допомогою барабаних сушарок і сушарок з киплячим шаром. Мета контролю сушіння полягає в тому, щоб гарантувати, що вологий твердий матеріал, що надходить, досягає заданого вмісту вологи при збереженні певної ефективності роботи обладнання, призначеного для обробки вологих матеріалів.

Основне порушення в процесі включає зміни у швидкості потоку, початковій вологості та складі диспергованих частинок твердого матеріалу, на додаток до змін у швидкості потоку та початковій температурі сушильного агента, який служить теплоносієм. Ключовою змінною, яка контролюється в цьому процесі, є залишкова вологість твердого матеріалу.

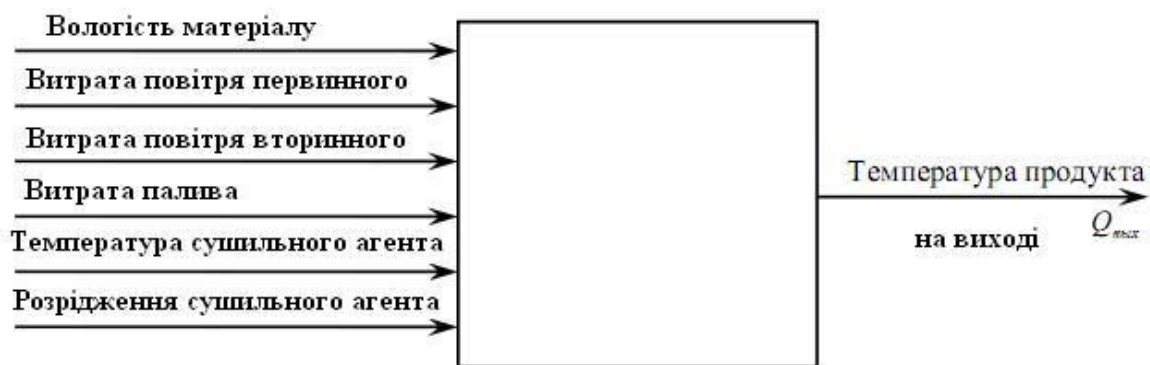


Рисунок 1.1 Структурна схема процесу сушіння насіння соняшнику

Регулювання швидкості, з якою насіння проходять через сушарку, буде базуватися на фактичній вологості сировини на виході. Вологоміри будуть розташовані як на вході, так і на виході із зони обігріву насіння соняшника. Таким чином, система ініціює реакцію та регулює тривалість перебування зерна

в зоні сушарки лише тоді, коли вологість соняшнику впаде нижче заданих стандартів.

Автоматичне регулювання теплогенератора передбачає підтримку температури сушильного агента. Однією з проблем є можливість перегріву соняшнику в зоні сушіння. Іншим важливим аспектом є ефективність; будь-які відхилення температури призводять до надмірного споживання палива, що збільшує загальну вартість процесу сушіння.

Управління та регулювання температури насіння соняшнику в зоні сушіння, зокрема його температурний режим, автоматично регулюється відповідно до заданої вхідної вологості.

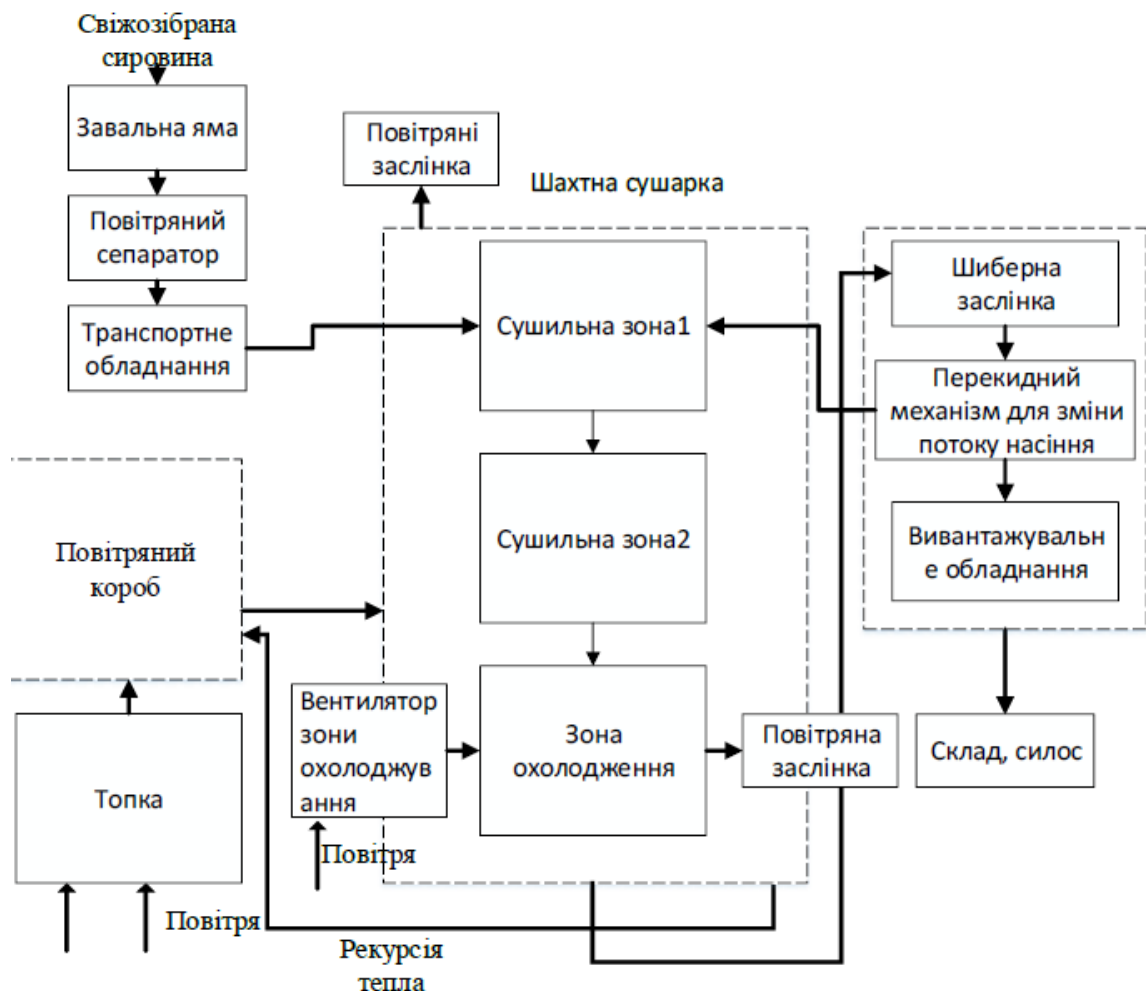


Рисунок 1.2. Візуалізація технологічного процесу сушіння насіння соняшнику

Управління транспортною системою передбачає подачу сировини до сушарки, за допомогою якої сировина транспортується від заливної ями до шахтної сушарки, доки сушильна камера не досягне місткості. Необхідно регулювати температуру печі, забезпечуючи постійну подачу сушильного агента при температурі, яка підтримує насіння соняшнику на рівні 54-55 градусів. Раптове підвищення температури може призвести до термічного шоку насіння соняшнику, потенційно погіршивши його якість і хімічний склад. Крім того, контроль за швидкістю проходження насіння соняшнику через сушарку повинен відповідати поточному рівню вологості; таким чином, частота відкривання вихідного механізму залежить як від налаштувань часу, так і від відсотка поглинання вологи.

Управління зоною охолодження та регулювання відпрацьованого повітря є важливими процесами. Спочатку, після певного часу, заслінка в зоні охолодження відкривається, дозволяючи вентилятору направляти холодне повітря на нагріте насіння, тим самим зменшуючи вміст вологи. Одночасно другий вентилятор відповідає за відведення відпрацьованого повітря з обох зон, при цьому заслінки відкриваються через задані проміжки часу.

Важливим технологічним аспектом шахтних сушарок є рециркуляція тепла, що підвищує енергоефективність. Однак виникає проблема регулювання температури, коли повітря з теплообмінника змішується з повітрям з печі, що призводить до різниці температур. Розподіл сировини залежить від її вологості. Зокрема, якщо відсоток вологи не відповідає встановленим стандартам, заслінка відкривається, і матеріал повертається в сушарку через кран. Навпаки, якщо вміст вологи відповідає стандартам, заслінка відкривається, дозволяючи транспортувати до розвантажувального шнека, який згодом направляє матеріал до силосів.

1.3. Аналіз технологічного процесу сушіння олійних культур та огляд системи функціонування цього процесу.

Після дослідження технологічного процесу сушіння насіння соняшнику за допомогою шахтних сушарок була створена схема, яка ілюструє інформаційні та матеріальні потоки в цій системі, як показано на рисунку 1.3.

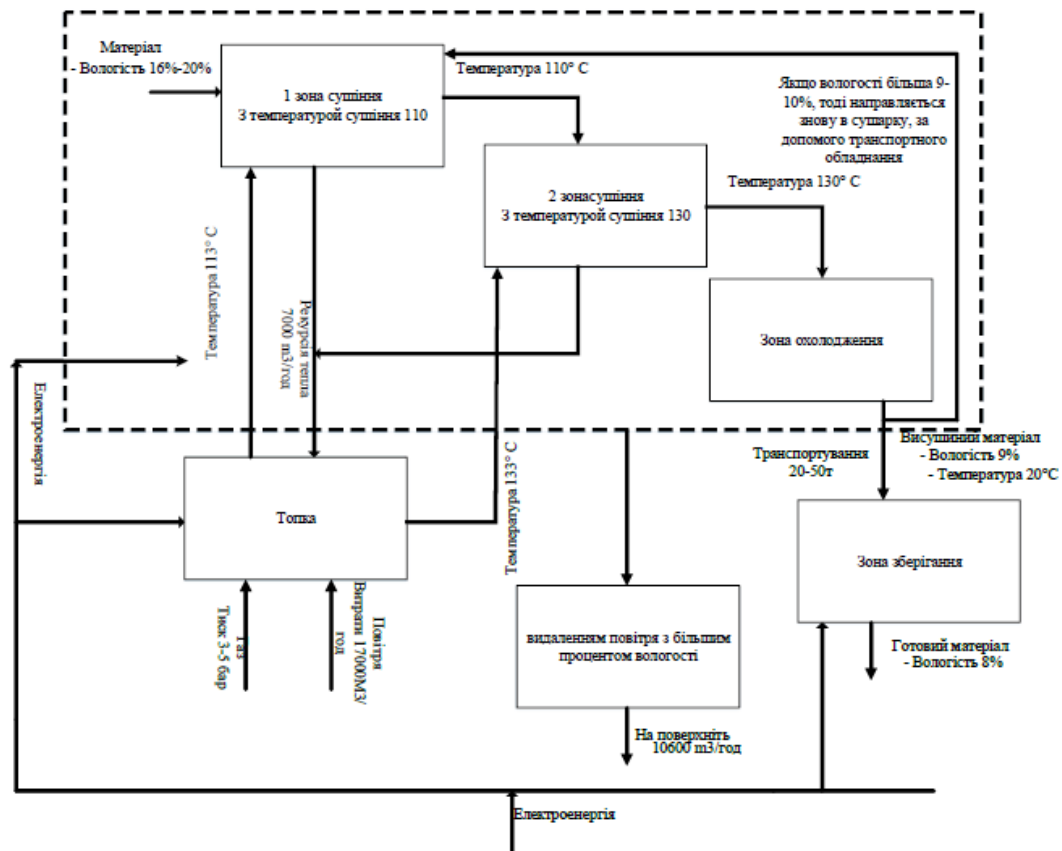


Рисунок.1.3 Візуалізація інформаційних та матеріальних потоків в системі автоматизованого сушіння насіння соняшнику.

Транспортне обладнання подає свіжозібране насіння соняшнику до шахти зі швидкістю 2,4 м/с, доки датчики, розташовані на верхньому рівні шахти, не покажуть, що сушильна шахта заповнена, після чого надсилається сигнал для зупинки транспортного обладнання. Після того, як шахта була заповнена, вносяться налаштування печі; Зокрема, встановлюється температура повітряного осушувача. Необхідна температура сушіння залежить від відсотка вологості, з оптимальним діапазоном 110-130 градусів за Цельсієм для рівня вологості 16-20%. Це гарантує, що температура насіння соняшнику досягає 55 градусів за Цельсієм, що ідеально підходить для збереження хімічного складу

при ефективному видаленні визначеного відсотка вологи. Провидець контролює всі датчики, і якщо помилок не виявлено, піч активується.

Режим вторинного сушіння, який використовується для насіннєвого матеріалу, працює в діапазоні 45-60, при цьому температура агента повітряної сушіння відкалібрована для досягнення рівня 15-18 градусів. В осушувачі повітря тепле повітря циркулює зі швидкістю від 1500 м³/год до 17 500 м³/год, залежно від заданого режиму.

Далі, з часом, заслінки в зоні охолодження активуються, дозволяючи холодному повітрю спрямовуватися в камери сушарки зі швидкістю 6000 м³/год. Цей процес охолоджує матеріал і витягує певний відсоток вологи, який змінюється залежно від тривалості сушіння насіння. Матеріал із вмістом вологи 16-20% потім транспортується через шахтну сушарку, проходячи один або два цикли залежно від відсотка вологості та тривалості сушіння. На виході з розвантажувального механізму оцінюється рівень вологості сировини; якщо він перевищує 9-10%, сировину перенаправляють назад у сушарку за допомогою транспортного обладнання для додаткових одного-двох циклів, поки вона не досягне вологості 9-10%. Після досягнення бажаного рівня вологості матеріал вивантажується на розвантажувальний шнек, який згодом транспортує його до силосів.

Вихідний продукт, який успішно пройшов усі цикли сушіння, зберігає вологість від 8% до 10%. Вищий відсоток підтримується, щоб гарантувати, що матеріал може зберігатися в силосах протягом певного часу.

Другій режим сушіння, для посівного матеріалу становить 45-60 температуру повітряного агента сушіння, щоб досягти температури 15-18 градусів. В повітряному агенті сушіння, тепле повітря розноситься зі швидкістю 1500м³/год-17500 м³/год, залежить від встановленого режиму.

При проходженні часу, відкривається заслінки в охолоджувальній зоні, де короби сушарки продуваються холодним повітрям, зі швидкістю 6000м³/год, де охолоджують та знімають певний процент від вологості, залежності від часу сушіння насіння.

Матеріал який становить 16-20% вологи, здійснюватиметься проходження сировини через шахтну сушарку, два цикли або один в залежності проценту вологості, та часу сушіння. Тобто на виході вивантажувального механізму, міряється волога сировини, якщо волога більше 9-10%, тоді сировина знову потрапляє в сушарку, за допомогою транспортного обладнання, на один або на два цикли, поки не досягне 9-10% вологості. При досягненні вологості 9-10% вивантажується на вивантажувальний шнек, котрий транспортує до силосів.

Вихідний продукт котрий пройшов всі цикли сушіння виходить 8% - 10%, більший процент береться для того що матеріал буде відлежуватися у силосах певний час.

1.4. Технічні умови на систему автоматизації сушіння насіння соняшнику.

Основним завданням управління цим технологічним процесом є досягнення сушіння вологих твердих матеріалів до заданої залишкової вологості при збереженні мінімальних коливань вхідних параметрів операції сушіння. Як правило, регулюючим фактором процесу сушіння є вологість теплоносія на виході з барабана.

РОЗДІЛ 2.

РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ.

2.1. Обґрунтування та критерії вибору параметрів контролю технологічного процесу сушіння.

Процес сушіння в барабанній сушарці – це технологічно складна процедура, яка відрізняється декількома ключовими характеристиками, безліччю параметрів, їх складними взаємозв'язками та наявністю неконтрольованих зовнішніх перешкод. Модель, що представляє таку складну систему, може бути описана набором специфічних параметрів: 1) набір вхідних параметрів X_1 , який охоплює контрольовані, але нерегульовані технологічні аспекти процесу, такі як тип і кількість матеріалу, що висушується (включаючи розмір і початковий вміст вологи); 2) набір неконтрольованих вхідних параметрів X_2 , які відображають вплив таких змінних, як флуктуації навколишнього середовища, старіння та знос обладнання, неоднорідність матеріалу та його нерівномірний розподіл по об'єкту регулювання; 3) набір контрольних параметрів U , які позначають регулюючі впливи, що підтримують необхідний режим роботи, в тому числі підведення тепла та швидкість обертання сушильного барабана; 4) набір вихідних параметрів Q , які оцінюють якість висушеного матеріалу, наприклад цільовий кінцевий рівень вологості; 5) набір вихідних параметрів E , які оцінюють економічну ефективність системи керування, особливо зосереджуючись на мінімізації тривалості сушіння при забезпеченні якості висушеної речовини та загальної ефективності сушильної установки.

В автоматизації процесу сушіння важливо впровадити систему, яка гарантує, що сушіння відбувається у спосіб, який наближається до оптимальних умов, тобто задані параметри Q повинні бути досягнуті при максимізації значень параметрів E . Цю проблему можна вирішити за допомогою використання систем

саморегулювання, які визначають відповідну комбінацію контрольних параметрів U для досягнення максимального значення параметра F .

2.2. Розробка функціональної схеми системи автоматизації технологічного процесу сушіння насіння соняшнику.

Функціональна схема систем автоматизації технологічних процесів є документом, який ілюструє як функціональну, так і блочну структуру таких систем. Він також детально описує інтеграцію пристроїв та засобів автоматизації в об'єкт керування. На цій схемі упорядковано зображені агрегати, призначені для автоматизації, а також пристрої та засоби автоматизації та керування. Ці елементи представлені за допомогою символів, які відповідають встановленим стандартам, включаючи лінії зв'язку, які їх з'єднують.

Таблиця 2.1 Функціональні характеристики системи автоматизації процесу сушіння насіння соняшнику.

№ з/п	Обсяг автоматизації							
	Назва параметра	Індикація	Реєстрація	Дистанційне керування	Захист	Блокування	Автоматичне регулювання	Сигналізація
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Витрата паливного газу	+	+			+		+
2	Витрата первинного повітря	+	+				+	
3	Кількість волого матеріалу	+	+			+	+	+
4	Температура в змішувальній камері						+	+
5	Вологість матеріалу на виході з	+	+				+	+
6	сушильної камери	+	+					
	Розрідження в змішувальній камері	+	+				+	+

Функціональна схема автоматизації технологічного процесу сушіння в барабанній сушарці складається з п'яти контурів керування та контролю. Управління цим процесом здійснюється через промисловий контролер PLC SIMATIC S7-1200. Сигнали з датчиків надходять на модуль нормалізації

аналогового сигналу (SM 1231), де вони проходять обробку та перетворення перед відправкою на вихідний модуль, з якого керуючі сигнали передаються на виконавчі модулі. Крім блоків вхідного та вихідного сигналів SM1221, до складу контролера входять ще декілька компонентів: блок введення алгоритму керування та блок введення завдання. Схема автоматизації технологічного процесу барабанної сушарки включає п'ять контурів регулювання індикації, реєстрації та сигналізації параметрів, а саме: автоматична реєстрація, індикація та сигналізація витрати пального газу; автоматичне регулювання, індикація, реєстрація та сигналізація дозування вологого матеріалу; автоматичне регулювання, індикація, реєстрація та сигналізація температури в камері змішування; автоматичне регулювання, індикація, реєстрація та сигналізація вологості матеріалу на виході із сушильної камери; і автоматичне регулювання, індикація, реєстрація, сигналізація та розведення в камері змішування.

У барабанній сушарці вологий матеріал вводиться з бункера через дозатор у барабан, який одночасно отримує гаряче повітря, нагріте в печі, наприклад, охолодженням пального газу. Коли барабан обертається, частинки твердого матеріалу рухаються вздовж його осі, а гаряче повітря рухається в лінійному напрямку через барабан, передаючи тепло частинкам матеріалу та сприяючи випаровуванню вологи. Потім висушений матеріал вивантажується з барабана в бункер, а повітря витягується через циклон за допомогою вентилятора. Процес сушіння в барабанних сушарках зазвичай займає кілька десятків хвилин, а прохід повітря обчислюється секундами.

Процес сушіння насіння соняшнику зазвичай залежить від рівня вологості охолоджувальної рідини, що виходить із барабана. Цей регулятор вологості впливає на клапан, розташований на лінії подачі паливного газу, що веде до топки. Для досягнення оптимальних результатів сушіння важливо вручну відкалібрувати налаштування регулятора вологості або температури повітря на основі лабораторних розрахунків залишкової вологи, присутньої у висушеному матеріалі.

Для досягнення повного згоряння паливного газу в топку вводиться первинне повітря, потік якого підтримується постійним за допомогою регулятора потоку. Терморегулятор забезпечує підтримання необхідної температури повітря на вході в барабан, контролюючи подачу вторинного повітря в змішувальну камеру.

Стабілізація завантаження сушарки для вологого матеріалу досягається за рахунок використання швидкості потоку АСР, яка охоплює датчики маси, розташовані як у дозаторі, так і в сушильній камері, разом із автоматичним регулятором. Коли кількість висушеного матеріалу в сушильній камері падає нижче заданого значення, регулятор активує сигнал для відкриття заслінки. Таким чином, підтримується постійна швидкість потоку твердого матеріалу в сушильний барабан.

Регулятор вакууму повітря, розташований у камері змішувача, забезпечує постійне навантаження об'єкта на сушильний агент (повітря) шляхом регулювання клапана, розташованого на лінії випуску повітря після циклону. Враховуючи постійний гідравлічний опір барабана та відсутність всмоктування повітря з атмосфери, система вакуумного контролю гарантує постійну швидкість потоку сушильного агента через барабан. Оптимальна швидкість визначається з урахуванням того факту, що збільшення цієї швидкості призводить до вищої швидкості висихання твердого матеріалу, що одночасно призводить до збільшення втрат тепла через відпрацьоване повітря.

Витрата паливного газу та вторинного повітря, а також рівні вакууму та вологості матеріалу в сушильній камері, а також температура в камері змішування контролюються та реєструються. Система автоматизації барабанної сушарки гарантує висушування вологого твердого матеріалу до заданої залишкової вологості навіть при незначних коливаннях вхідних параметрів процесу сушіння.

2.3 Вибір технічних засобів автоматизації процесу сушіння насіння соняшнику

Вибір датчика температури. Вибір датчиків температури має вирішальне значення для моніторингу температури насіння соняшнику під час процесу його сушіння. Щоб досягти оптимального регулювання температури в сушильних агентах, важливо вибрати датчик температури, який має відповідний діапазон для точного вимірювання.

Основні міркування при виборі датчиків включають такі параметри, як діапазон температур, характер вихідного сигналу, схема підключення, можливість занурення датчика в сушильну масу та можливість вимірювання параметрів у агресивному середовищі

Система контролю температури насіння соняшнику працює в шахтній сушарці. Тип датчика EST110 призначений для безперервного моніторингу температури соняшнику в цьому процесі. Дані з датчиків передаються на вхід контролера керування в аналоговому форматі, надаючи сповіщення про будь-які перевищення температури в насінні соняшнику, а також про швидкість збільшення показника температури.

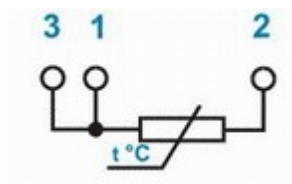


Рисунок 2.2. Схема підключення датчика температури EST110.

Технічні характеристики наступні: • Діапазон мінімальних температур: -100°C • Діапазон максимальних температур: 850°C • Похибка вимірювання температури: $\pm 0,5^\circ\text{C}$ • Ступінь захисту: IP67.

Датчики температури повітряного середовища розроблені для оцінки повітряного середовища та підтримки ідеального рівня температури, дані з датчиків передаються в аналоговому форматі.

Вибір датчика рівня. Датчики граничного рівня, призначені для сипучих матеріалів і розроблені для надання сигналу, коли матеріал досягає заданого рівня. У цих датчиках використовується або контактний метод вимірювання (наприклад, обертальний, вібраційний або ємнісний методи), або безконтактний метод вимірювання (включаючи ультразвукові, мікрохвильові або радіаційні методи).

Ультразвуковий датчик має характеристики, які роблять його придатним для різних застосувань; однак його оптимальне використання – це рідкі середовища, такі як масла, паливо та хімікати, а не масові середовища. З іншого боку, ємнісні датчики в основному використовуються для моніторингу рівня рідини, знаходячи застосування в таких секторах, як харчова промисловість і, зокрема, системи водопостачання.

Ротаційні датчики використовуються для контролю рівнів різних сипучих матеріалів, включаючи зерно, кормові гранули, пісок і подібні речовини.

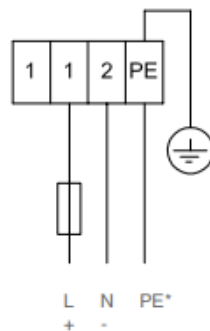


Рис. 2.3. Схема підключення ротаційного датчика рівня

Таблиця 2.2. Технічні характеристики ротаційного датчика рівня

Напруга живлення	24В DC
Температура	-20...+80 0С
Максимальний тиск	0,8 бар
Клас захисту	IP66
Тип лопаті	Муфтова
Розмір лопаті	40 x 98мм
Довжина зовнішньої частини	100 мм

Вибір датчика вологи. Датчик вологи розроблено для оцінки рівня вологості сипучих матеріалів, включаючи зернові, олійні та бобові культури. У процесі відбору слід враховувати його основні технічні характеристики: діапазон вимірювань, рівні чутливості, похибка, діапазон робочих температур та варіанти інтерфейсу зв'язку.

Нами було проаналізовано три технології вимірювання вологи: ємнісний метод, мікрохвильова технологія та рефлектометрія у часовій області. Ємнісний метод застосовний в умовах, коли зовнішні фактори, такі як температура, не впливають, мінеральний склад матеріалу залишається постійним і висока точність вимірювання не є важливою.

Мікрохвильові датчики виявляють коливання як температури, так і електропровідності матеріалів; однак для досягнення стандартних показників необхідна програмна обробка сигналу, що значно підвищує точність вимірювань. На ці показники можуть впливати такі фактори, як температура і розмір зерна. Отже, вологоміри зерна збирають дані не лише щодо вмісту вологи на поверхні, як це видно за допомогою відбивних інфрачервоних вологомірів, але й щодо загального вмісту вологи в зерні.

Технологія TRIME® дозволяє уникнути використання дорогих і схильних до помилок конструкцій байпасів, які вимагають надзвичайно дорогих мікрохвильових або інфрачервоних датчиків. Крім того, технологія TRIME®, інтегрована в вологомір зерна, забезпечує значну гнучкість конструкції зонда, дозволяючи оптимізувати роботу в різних сферах застосування. Ці переваги роблять його найкращим вологоміром зерна, а його ціна відображає якість його роботи. [15]. Загальний вигляд датчика вологості TRIME-GW показано на рисунку 2.4.



Рисунок 2.4. Загальний вигляд датчика вологості TRIME-GW

Таблиця 3.3 Технічні характеристики давача вологості TRIME-GW

Живлення	9В...36В DC
Струм	150мА при 24VDC
Діапазон вимірювання, зонд GR, WS2, GS1, GS2	0...45%
Зонд WS3	0...70%
Стандартні характеристики	Діапазон 0...20%: 0,6% Діапазон 20...45%: 1% Діапазон 45...75%: 2%
Точність	+/- 0,3%
Діапазон температур	-10...60 ⁰ С
Діапазон температур зонда	0...127 ⁰ С
Інтерфейси	MODBUS RTU
Аналоговий вихід	4..20 мА
Корпус	IP65
Корпус Зонда	IP68

Вибір датчика положення. У процесі вибору датчиків положення їх застосування охоплюватиме контроль відкриття та закриття стулок, відстеження

рівня транспортного обладнання, визначення положення конвеєрної стрічки або конвеєра, блокування башмака конвеєра. Для виконання цих функцій було оцінено три категорії датчиків: індуктивні, ємнісні та оптичні.

Оптичні датчики є дорогими і тому не використовуються для цих функцій. Навпаки, індуктивні датчики служать для ефективного управління затвором і ініціювання роботи транспортного обладнання. Додатково вони можуть стежити за положенням конвеєрної стрічки та блоку башмака конвеєра.

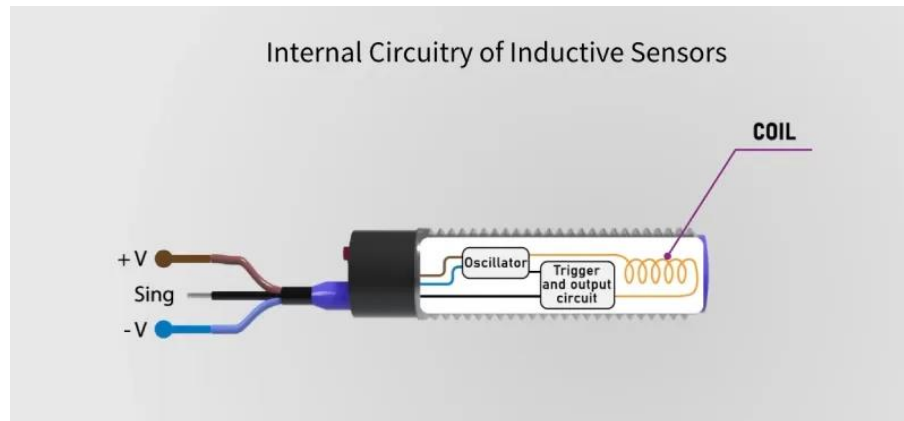


Рис. 2.5 Схема індуктивного датчика

Таблиця 2.3 Технічні характеристики індуктивного датчика

Функція перемикаючих елементів	Тип NPN Нормально-розімкнутий контакт
Інтервал перемикань s_n	8 мм
Вихідна полярність	пост. струм
Робоча напруга U_B	10 ... 30 В
Частота перемикань f	0 ... 500 Гц
Гістерезис H	зазвичай. 5%
Захист від неправильної полярності підключення	захист від неправильної полярності підключення
Падіння напруги U_d	≤ 3 В
Робочий струм I_L	0 ... 200 мА
Залишковий струм I_r	0 ... 0,5 мА зазвичай. 0,1 мкА при 25 ° С
Струм холостого ходу I_0	≤ 15 мА
Індикація перемикання	Багатоканальний світлодіод, жовтий
MTTFd	1920 а

Датчики температури роликів спеціально розроблені для контролю температури роликів, таким чином захищаючи обладнання від потенційного пошкодження та зменшуючи ризик пожежі.

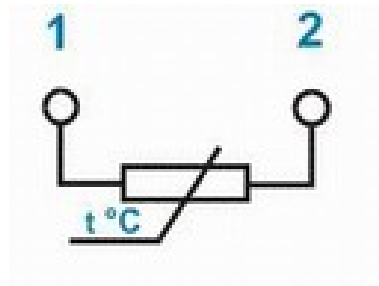


Рис. 2.6 Схема дачика температури роликів

Таблиця 2.4 Технічні характеристики датчика температури роликів

Діапазон температур	-30-110
Тип сигналу	4-20
Різьба	1/8 NPT

Ємнісний датчик виконує подвійні функції: моніторинг засмічення башмака елеватора та відстеження положення конвеєрної стрічки та елеватора. Метою датчика засмічення є захист обладнання від потенційного пошкодження, зокрема шляхом запобігання несприятливим ефектам, таким як стукіт, прослизання стрічки ковша та поломка ковша. Після запуску елеватора, якщо матеріал у башмаку перевищує встановлений рівень, датчик запускає аварійне сповіщення, що призводить до припинення як транспортного обладнання, так і подачі сировини.

Таблиця 2.5. Технічні характеристики ємнісного датчика

Діапазон	10мм
Тип виходу	2 провідна
Робоча напруга	20...253В
Частота перемикавання	0...10Гц
Функціональне перемикавання	Нормально розімкнутий контакт
Температура	-25...70 ⁰ С
Ступінь захисту	IP67

Вибір частотного перетворювача для норії. При виборі пристрою керування приводом конвеєрної системи в елеваторі було встановлено дві

основні цілі: регулювання швидкості та енергоефективність. Завдання регулювання швидкості передбачає регулювання швидкості конвеєра залежно від типу культури, що сушиться, або відсотка наявної вологості. Зокрема, для насіння сої з вологістю від 13 до 20 відсотків важливо підтримувати оптимальну швидкість від 2 до 2,4 м/с. Однак, якщо вміст води перевищує 20 відсотків, необхідно зменшити номінальну швидкість, щоб запобігти потенційному пошкодженню матеріалу. Що стосується транспортування зерна, рекомендована оптимальна швидкість від 2,3 до 3 м/с, щоб гарантувати відсутність шкоди для матеріалу під час транспортування.

Що стосується енергоефективності, то статистика фермерів свідчить про те, що значна частина втрат припадає на споживання електроенергії та використання горючих матеріалів, що підвищує собівартість тонни висушеної сировини. Встановлення частотного перетворювача на крані може заощадити до 30 відсотків витрат на транспортування за рахунок зниження напруги при збереженні необхідної вихідної потужності. Крім того, ця модифікація збільшує термін служби двигуна та захищає його від шкідливих умов мережі.

Danfoss VLT Micro Drive FC51 — це перетворювач частоти, розроблений для застосування в конвеєрних системах, шнекових механізмах, кранах і вентиляторах. Ця модель має ряд переваг, пов'язаних із використанням перетворювача частоти.

- Можливість реалізації PID-регулятора;
- Наявність інтерфейсів зв'язку RS-485, FC-BUS і Modbus RTU
- Включення фільтра, призначеного для пом'якшення радіочастотних перешкод
- Наявність п'яти аналогових виходів, а також дискретних входів для таких функцій, як запуск, зупинка, реверс і скидання.

Таблиця 2.6. Технічні характеристики частотного перетворювача

Частота комутація, кГц	2-16
Струм, А	31
Клас захисту	IP20
Фазність	3 фаз – 380 В
Вхідна фазність	3- ф/380
Вихідна фазність	3- ф/380
Вихідна частота, Гц	400
Робоча температура	0...+50
Серія	FC-51

Вибір електричної заслінки для відпрацьованого повітря. При виборі механізму керування для електричних повітряних заслінок враховувалися два основні критерії – це крутний момент та тип керування. Крутний момент коливається від 2 до 40 Нм і визначається виходячи з габаритних розмірів арматури. Ці заслінки поділяються на відкриті та закриті типи, які використовують аналоговий сигнал 0...10 В.

Електричний привід повітряної заслінки Belimo GK24A-1 використовується для повітряної заслінки в холодній зоні сушарки, головним чином для полегшення автоматичної роботи пристрою. Переваги використання включають:

- Знижене споживання енергії.
- Потенціал для стабілізації розташування.
- Мінімальний рівень шуму.



Рисунок 2.7. Зовнішній вигляд повітряної заслінки

Призначення	Для повітряних заслінок
Живлення	220в
Час повороту	150 Сек.
Обертаючий момент	20Нм
Діапазон температур	-30 до +50
Ступінь захисту	IP54

Вибір засобів пожежної безпеки. З огляду на те, що сушильна машина становить потенційну небезпеку, у разі недотримання технічних норм виникає ризик пожежі та витоку газу. Важливо стежити за цими факторами, щоб запобігти критичним ситуаціям.

Таблиця 2.7. Технічні характеристики вибраного інфрачервоного датчику диму

Компанія	Siemens
Найменування	FDL SERIES
Ступінь захисту	EN54-17
Вологість повітря	IP65
Робоча температура	-30....+75 0C
Довжина вимірювання	5-8м
Тип сигналу	Аналоговий

Таблиця 2.8. Технічні характеристики вибраного датчика витоку газу

Вихід	4-20мА
Корпус	2G Ex D
Сертифікати	CESI 03 ATEX 323 X
Назва	TS293 ATEX

Таблиця 2.9. Технічні характеристики вибраного електромагнітного газового клапану

Напруга	230В 50/60Гц
Діапазон температури	-15...+60
Тиск	600мбар, 6 бар
Потужність	20 Вт
Ступінь захисту	IP 54

2.4. Вибір програмованого логічного контролера (ПЛК) разом із додатковими модулями керування виходом та інтерфейсними модулями.

Процес вибору програмованого логічного контролера (ПЛК), який є основою для системи керування шахтною сушаркою, здійснюється за такими критеріями: - технічні характеристики; - експлуатаційні особливості. Вибираючи ПЛК, я зосередився на технічних характеристиках, які включають 55 дискретних входів, 36 дискретних виходів і 8 аналогових входів, а також включення пам'яті EPROM, пам'яті для зберігання програм, оперативної пам'яті та підтримки інтерфейсів Profinet і Modbus RTU, а також міркувань щодо експлуатаційної надійності. Важливо забезпечити можливість гарячої заміни модулів у разі аварійної ситуації, а також зберегти налаштування контролера в енергонезалежній пам'яті. Всього було оцінено п'ять брендів ПЛК: Mitsubishi Electric, Schneider Electric, Aries, Omron, ABB, Siemens і Allen-Bradley.

Mitsubishi Electric, ABB і Allen-Bradley відомі своїми надзвичайно високими технічними характеристиками та надійністю, а також широким набором модулів, призначених для управління виходом. Однак виникають проблеми через їхню значну високу вартість і труднощі з підбором програмістів. Незважаючи на узгодженість мов програмування, таких як сходова логіка,

функціональна блок-схема (FBD), структурований текст (STL) і, у деяких брендів, мова C, проблеми залишаються. Перший виклик полягає в різноманітних інтегрованих середовищах розробки (IDE), які пропонують різні функціональні можливості, деякі з яких можуть не мати бібліотек, які підвищують ефективність кодування. Другою проблемою є дефіцит програмістів, які кваліфіковані в цих брендах, причому ставки фрілансерів для розробки алгоритмів є помітно високими. Крім того, виникають ускладнення, пов'язані із заміною модуля; у багатьох випадках доводиться чекати від 2 до 10 днів для доставки нового модуля або контролера в екстрених ситуаціях, що є неприйнятним для наших вимог.

Овен має похвальні якості та пропонує вигідну ціну; однак у нього виникають проблеми з модулями керування виходом, що у більшості випадків вимагає придбання додаткових станцій керування виходом. Хоча доступне безкоштовне інтегроване середовище розробки (IDE), користувачі також можуть використовувати Codesys. Проте з функціональними блоками виникають труднощі; наприклад, створення регулятора вимагає формулювання математичного виразу, його перевірки та подальшого вибору відповідних коефіцієнтів. Це ускладнює та подовжує процес розробки алгоритму, тенденція, яка поширена в багатьох функціях.

Siemens і Schneider Electric пропонують виняткові технічні характеристики, прийнятний ціновий діапазон, можливість підключення додаткових модулів керування виходом, підтримку багатьох інтерфейсів і високу надійність. Їхні інтегровані середовища розробки (IDE) є високофункціональними; однак Siemens виділяється вільною конфігурацією блоків управління виходом, широким набором функціональних блоків, численними бібліотеками, інструментами діагностики та вбудованим програмним забезпеченням для побудови систем SCADA. Ці можливості значно прискорюють процес розробки алгоритмів керування та систем SCADA. ПЛК SIMATIC S7-1200 представляє нову серію мікроконтролерів Siemens, призначених для вирішення широкого спектру невеликих завдань автоматизації.

Ці контролери мають модульну конструкцію та універсальні. Ключовим атрибутом є їхня здатність замінювати або додавати різноманітні інтерфейси модулів вводу-виводу, від 10 до 245, а також розміщувати від 2 до 51 аналогових входів, при цьому допускаючи вільну топологію. Крім того, вони підтримують інтерфейси Industrial Ethernet / PROFINET, Profibus, Modbus і Modbus RTU. Їх характеристики включають ступінь захисту IP20 і температурний діапазон від 0 до +50 С.



Рисунок 2.8. Загальний вигляд ПЛК SIMATIC S7-1200

Усі центральні процесори демонструють чудову продуктивність і пропонують підтримку широкого набору функцій, вони мають можливість програмування на мовах LAD і FBD, а також на мовах SCL, і містять численні вже існуючі бібліотеки для вирішення різноманітних функціональних завдань. Час виконання логічної операції надзвичайно швидкий, не перевищує 0,1 мкс.

Пристрій має вбудовану пам'ять, здатну зберігати до 4 МБ, яку можна розширити за допомогою карти пам'яті з максимальним об'ємом 2 ГБ. Крім того, він містить робочу пам'ять об'ємом до 50 Кб та незалежну системну пам'ять об'ємом 2 КБ, що дозволяє працювати без збереження даних під час відключення живлення контролера і додаткові інші різні технологічні характеристики.

Також має можливість підключення до промислової мережі Industrial Ethernet та можливість з'єднання з такими модулями, які володіють інтерфейсами Profibus, Modbus, Modbus RTU та AS.

Містить зручне програмне середовище, яке полегшує створення візуалізацій процесів, включає інструменти діагностики та надає елементи для тестування розроблених алгоритмів, серед інших функцій.

Модуль дискретного вводу/виводу SM1221 сприяє розширенню поточної локальної системи вводу/виводу контролера, надаючи додатковий масив вхідних і вихідних каналів для дискретних сигналів.

Переваги:

- Інтеграція різних типів сигнальних модулів полегшує отримання необхідної кількості та різноманітності вхідних і вихідних каналів для дискретних сигналів. Це дозволяє використовувати 8-, 16- та 32-канальні модулі введення/виведення для дискретних сигналів.
- Включення сигнальних плат полегшує обмежене вдосконалення системи введення/виведення контролера без необхідності збільшення її розмірів. Кожен центральний процесор S7-1200 дозволяє установку виключно однієї сигнальної плати.
- У процесі вдосконалення та модернізації поточних систем контролер може бути доповнений необхідними сигнальними модулями, що супроводжується необхідними налаштуваннями його програмування.



Рисунок 2.9. Зовнішній вигляд модуля ведення-виведення SM1221

Дискретні входи та виходи збільшують кількість каналів введення/виведення, якими керує один центральний процесор SIMATIC S7-1200. Сигнальні модулі сумісні з усіма різновидами центральних процесорів SIMATIC S7-1200, за винятком CPU 1211C.

Сигнальні плати можуть бути встановлені всередині центрального процесора без збільшення інсталяційного обсягу та підходять для використання з усіма типами центральних процесорів SIMATIC S7-1200. Таке розташування дозволяє гнучко адаптувати контролер до конкретних вимог поставленого завдання в системі автоматизації.

Сигнальні модулі SM 1231 використовуються для підключення аналогових датчиків до контролера. Впровадження цих сигнальних модулів дає змогу найкраще пристосувати контролер до конкретних вимог поставленого завдання. Використання аналогових сигнальних модулів дозволяє контролеру ефективно керувати більш складними завданнями керування.

Для полегшення прямого підключення до аналогових датчиків передбачена наявність модулів із різними діапазонами варіацій аналогового сигналу та роздільною здатністю до 14 біт дозволяє пряме підключення датчиків без необхідності використання проміжних підсилювачів.

Значної гнучкості можна досягти на етапах розробки та вдосконалення існуючих систем автоматизації шляхом включення додаткового набору сигнальних модулів і впровадження необхідних коригувань у програму контролера.



Рисунок 2.10 Зовнішній вигляд аналогового модуля SM 1231

Модулі введення аналогового сигналу, розроблені для програмованих контролерів SIMATIC S7-1200 мають кілька переваг, серед яких варто виділити наступні: вони мають надзвичайно короткий час перетворення, дозволяють пряме підключення аналогових датчиків без необхідності використання проміжних підсилювачів і полегшують вирішення більш складних завдань керування.

Інтерфейсний модуль SM1241 полегшує обмін даними через з'єднання точка-точка (PtP). Нижче наведено список пристроїв, які можуть підключатися

через PtP: • системи автоматизації SIMATIC S7, а також системи різних виробників; • принтери; • роботизовані системи управління; • модеми; • перетворювачі частоти;



Рисунок 2.11. Зовнішні вигляд модуля зв'язку CM1241.

Також серед його переваг варто відзначити велику швидкість обміну даними через PtP з'єднання, підтримку протоколів ASCII, USS, Modbus RTU, а також можливість налаштування додаткових протоколів і їх конфігурування програмному середовищі Tia portal.

РОЗДІЛ 3.

ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ЗЕРНА СОНЯШНИКА

3.1. Розробка схем керування процесом сушіння зерна соняшника

У схемі транспортування (рис. 3.1) свіжозібране насіння поміщається в яму, звідки потім транспортується до конвеєрної системи. Потім ця система полегшує їх подальше транспортування до сушарки за допомогою крана.

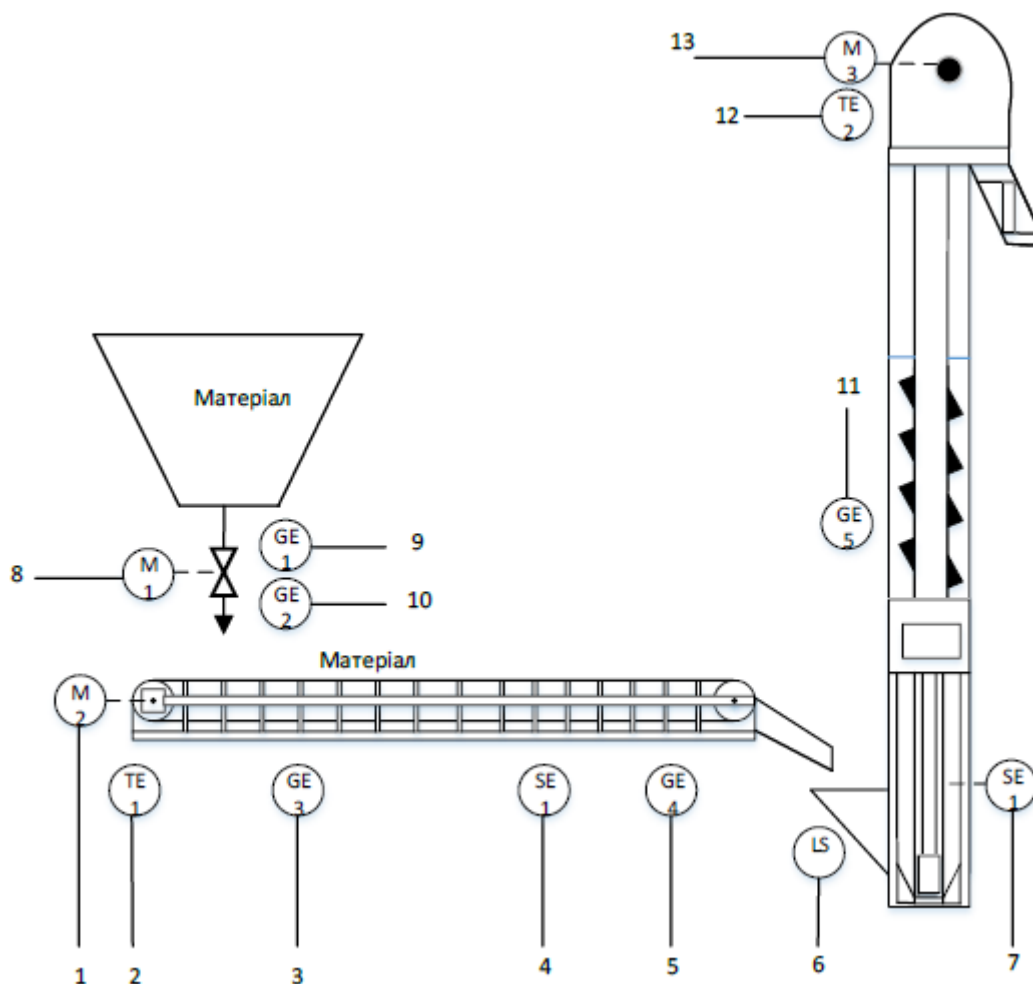


Рисунок 3.1. Схема транспортування

Перед активацією розвантажувального механізму необхідно увімкнути конвеєр і елеватор. Розрядний механізм M1 керує редуктором, відповідальним за

відкриття випусного механізму, до індуктивного датчика GE1, який показує, коли механізм відкритий, і GE2, який сигналізує, коли він закритий. У випадку, якщо один із датчиків не повідомляє про своє положення, спрацьовує аварійна зупинка.

Двигун M2 активується рухом конвеєрної стрічки, яка використовує пристрій плавного пуску. Інформація про позиціонування конвеєрної стрічки надається датчиками GE3 і GE4; однак у разі обриву ременя ці датчики передадуть екстрену команду зупинити двигун і припинити подачу сировини. Датчик швидкості SE1 контролює швидкість руху, і якщо двигун не запускається протягом п'яти секунд, він видасть екстрену команду зупинити двигун M2, тим самим перешкоджаючи подачі сировини. Крім того, датчики температури роликів TE2 використовуються для вимірювання температури роликів, щоб запобігти потенційній небезпеці пожежі.

Мотор-редуктор M3 забезпечує рух елеватора за допомогою частотного перетворювача для досягнення оптимальної швидкості стрічки 2-2,4 м/с для транспортування соняшнику. Контроль швидкості стрічки відповідає датчику швидкості SE1. Крім того, датчик положення ременя GE5 виявляє будь-які розриви або зміщення ременя, негайно повідомляючи про будь-які інциденти. Датчик температури ролика TE2 відповідає за моніторинг критичних температур роликів, забезпечуючи тим самим запобігання небезпеці пожежі.

Схема керування для сушарки, як зображено на рис. 3.2, регулює температуру як сушильного агента, так і сировини, а також керує тривалістю, необхідною для видалення вологи, і контролює систему витяжного повітря. Свіжозібрана сировина за допомогою транспортного обладнання подається в шахту, де датчик вологості TM1 оцінює початкову вологість. Це вимірювання полегшує вибір більш ефективного режиму сушіння та визначає тривалість сушіння на основі відсотка вологості. Датчики верхнього рівня, LS1 і LS2, контролюють рівень сировини в шахті. При досягненні датчика LS1 подається команда на вимкнення транспортного обладнання, елеватора та конвеєра із закриттям витяжного механізму. Датчик вологи TM2 оцінює кінцевий відсоток

вологи в сировині; якщо цей відсоток не потрапляє в діапазон 9-10%, активується заслінка M2, перенаправляючи матеріал на другий цикл сушіння за допомогою транспортного обладнання, зображеного на рис. 3.4. І навпаки, якщо відсоток вологи відповідний, заслінка M1 відкривається, спрямовуючи матеріал до шнека M1, як показано на рис. 3.1, для подальшого переміщення в силос для зберігання.

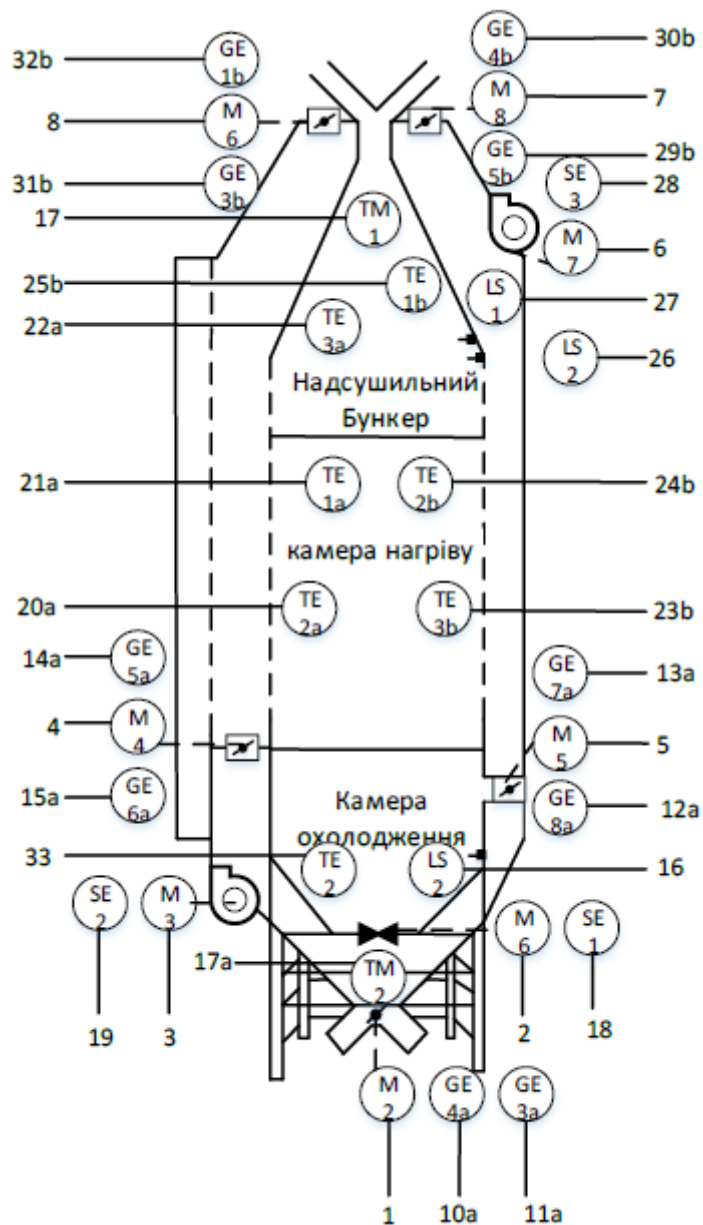


Рисунок 3.2. Схема керування сушаркою.

Підтримання заданої температури забезпечується трьома групами датчиків: датчики сушильного агента TE1a-TE3a, датчики температури сировини

TE1b-TE3b і датчики температури холодної зони TE2. Система витяжного повітря контролюється, при цьому гаряче повітря, що містить значну кількість вологи, піднімається на поверхню, де воно проходить через повітряні заслінки M6 і M7. Індуктивні датчики GE1b-5b передають інформацію про стан відкриття або закриття цих заслінок. Якщо індуктивний датчик не повідомляє про своє положення, на панель оператора надсилається екстрене сповіщення, що вимагає активації резервного вентилятора M7. Цей вентилятор включається або в аварійних ситуаціях, або відповідно до обраного режиму роботи. Крім того, датчик швидкості SE3 вимірює швидкість потоку обміну витяжного повітря, яка залежить від швидкості вентилятора M1.

Холодна зона вентилюється за допомогою M3 і повітряних заслінок M4 і M5. Після відповідного періоду висихання заслінка M4 закривається, а заслінка M5 відкривається. Положення цих заслінок контролюються індуктивними датчиками GE5a і GE6a. Після відкриття заслінок включається вентилятор M3, що сприяє охолодженню сировини.

Схема керування газовою піччю, зображена на рис. (3.3), регулює температуру повітряного агента, контролює тиск у газопроводі, контролює подачу газу та регулює швидкість повітряного агента.

Для запуску печі спочатку оцінюється тиск у газопроводі за допомогою датчиків PSA1 і PSA2. Нормально закриті крани FS1 і FS2 можна відкрити, якщо тиск у газопроводі вважається нормальним. Після цього серводвигун M регулює газовий клапан на заданий кут на основі заданих налаштувань, і запальник активується через реле часу KS, яке запалює газову платформу. Датчик наявності пожежі FD визначає наявність пожежі; Якщо датчик не зареєструє будь-які дані протягом визначеного періоду часу після запалювання, серводвигун закрий газову заслінку, викликавши аварійне сповіщення про помилку на панелі оператора. Після короткого інтервалу включається вентилятор M зі швидкістю, яка визначається режимом сушіння.

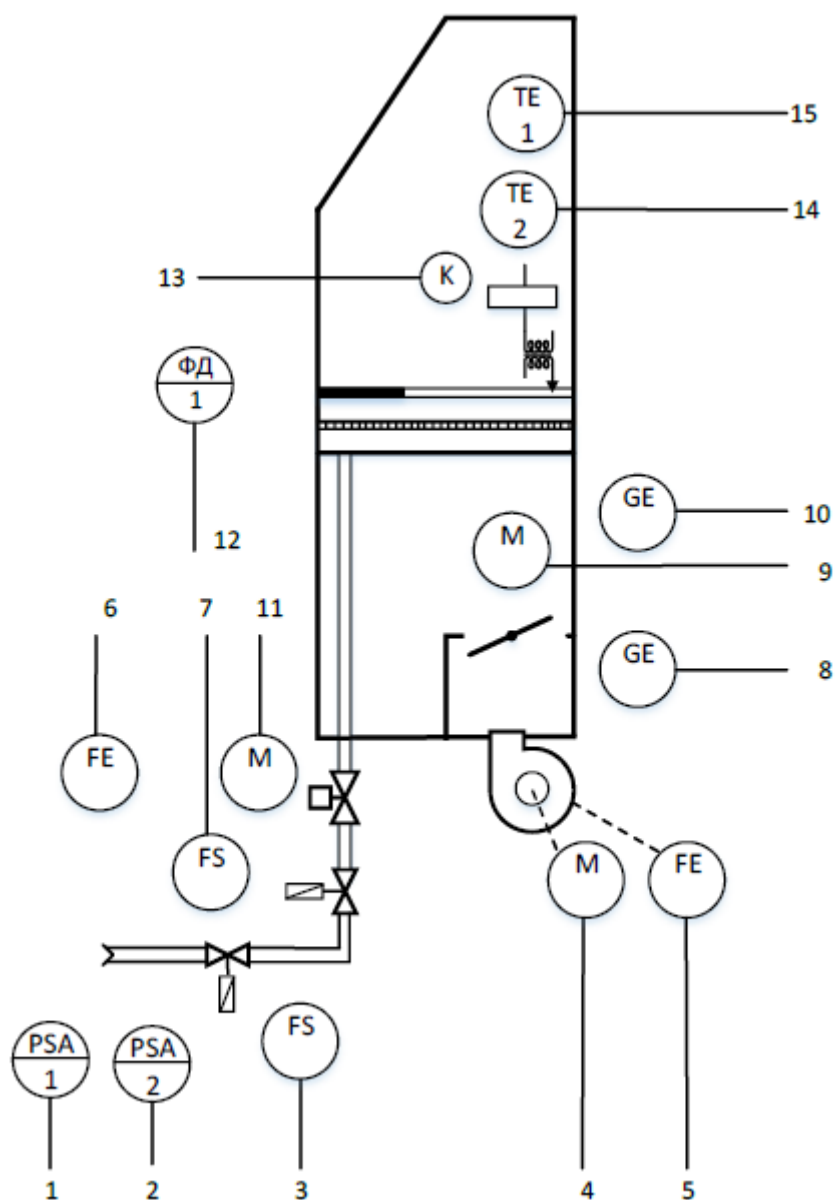


Рисунок 3.3. Схема управління газовою піччю.

Реалізація схеми керування для шнека та елеватора (див. рис. 3.4) виглядає наступним чином: Датчик вологи TM1 оцінює кінцевий рівень вологості насіння соняшнику. Якщо вологість потрапляє в заданий діапазон 9-10%, насіння транспортується до шнека M1, з якого потім транспортується в силоси. Для контролю за активацією шнека використовується індуктивний датчик GE1; якщо шнек M1 активується, а датчик GE1 не реєструє його положення протягом п'яти секунд, оператору надсилається сповіщення про тривогу, що призводить до припинення всього процесу.

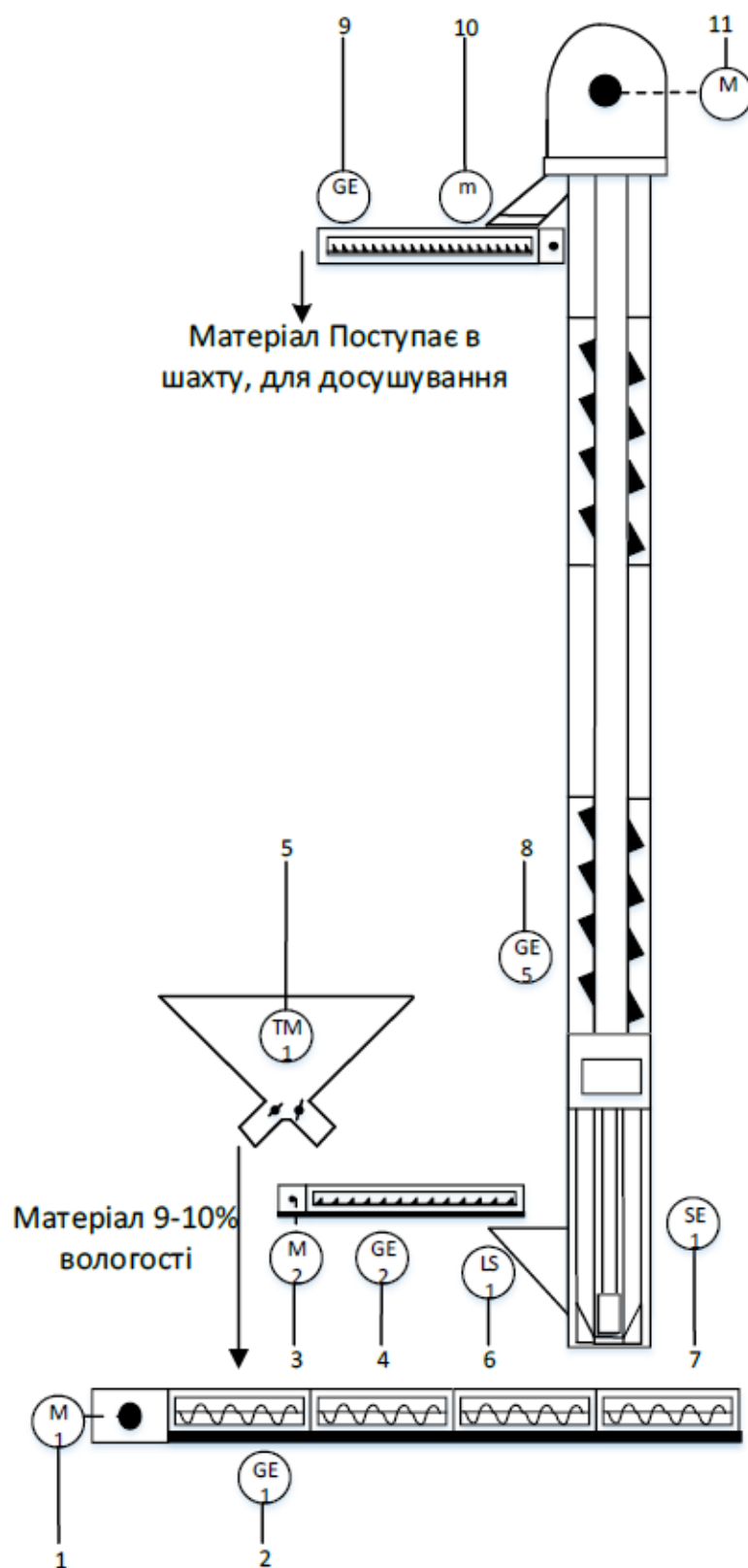


Рисунок 3.4. Схема управління елеватора та шнека.

3.2. Реалізація елементів SCADA системи шахтної сушарки насіння соняшнику.

Програмний пакет TIA Portal забезпечує зручне середовище для створення візуалізації технічних проєктів, що дозволяє в подальшому здійснювати моніторинг і керування процесами в реальному часі. Однією з його переваг є підтримка режиму runtime, а також можливість тестування та налаштування безпосередньо в середовищі розробки. Завдяки підтримці скриптів мовою C розробники отримують додаткову гнучкість у реалізації складних логік управління.

TIA Portal також відзначається широким набором функціональних можливостей: графічна бібліотека, потужний редактор екранів, велика кількість інструментів і зручне прив'язування тегів значно полегшують створення інтерфейсів. Програма підтримує імпорт та експорт даних, гнучке налаштування системи повідомлень (class alarm), а також доступна на 32 мовах, що робить її універсальним інструментом для розробників у всьому світі.

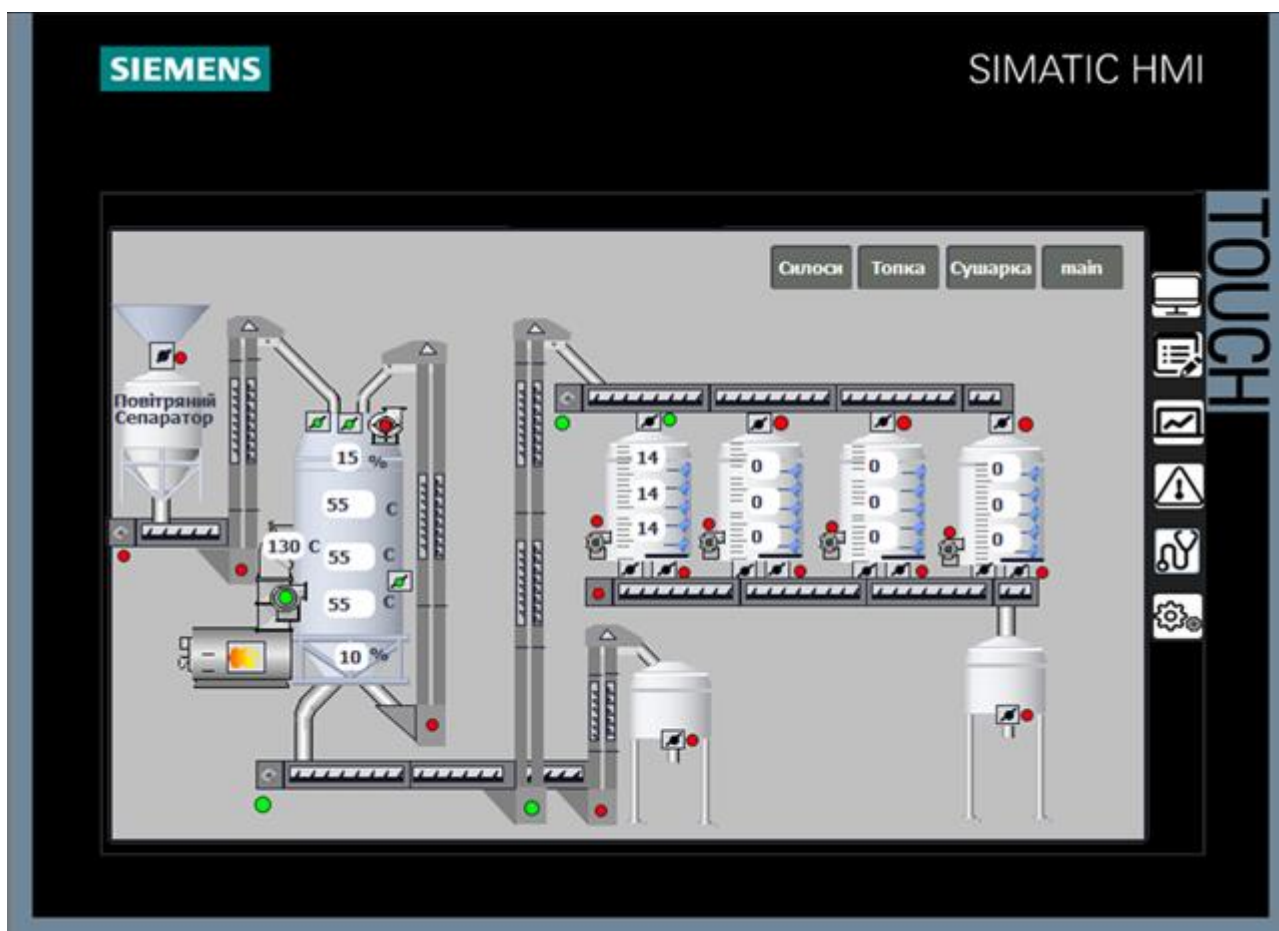


Рис. 3.5. Реалізація елементів SCADA системи шахтної сушарки в Tia Portal.

Режим профілю полегшує вхід, зміну мови та встановлення базової конфігурації. Функція нагадування дозволяє користувачеві переглядати всі помилки, які виникають, а також усі процеси, які почали або припинили функціонування, а також надає можливість експортувати журнал дій і помилок. Графік дозволяє оператору контролювати процес сушіння; для користувачів із підвищеними правами доступу існує можливість графічно змінювати параметри контролера та спостерігати за його поведінкою. У розділі режимів можна вибрати автоматичний або ручний режим сушіння, що забезпечує гнучкість конфігурації параметрів за бажанням.

3.3 Вибір і побудова схеми мережі для зв'язку з елементами системи

У процесі проектування автоматизованої системи керування важливо забезпечити надійний і ефективний обмін даними між усіма її компонентами. Для цього необхідно обрати відповідну мережеву архітектуру, яка відповідатиме технічним вимогам системи, кількості пристроїв, що підключаються, типу обладнання, а також зважати на економічну доцільність реалізації того чи іншого підходу. На початковому етапі було здійснено огляд основних типів промислових мереж, які найчастіше застосовуються в системах автоматизації: Industrial Ethernet, PROFIBUS-DP, MODBUS та MODBUS-RTU.

Під час розгляду мережі PROFIBUS-DP з'ясувалося, що вона є досить ефективним рішенням у випадках, коли система містить велику кількість підключених пристроїв, зокрема частотних перетворювачів, сенсорних модулів та модулів введення/виведення. Проте, у даному випадку використання PROFIBUS виявилось економічно недоцільним, оскільки в системі використовується лише один частотний перетворювач. Для реалізації зв'язку з ним необхідно було б придбати додатковий модуль зв'язку, що значно збільшує вартість проєкту. Крім того, зважаючи на обмежену кількість пристроїв, переваги мережі PROFIBUS не були б повною мірою реалізовані.

MODBUS-RTU був розглянутий як економічно ефективна альтернатива для організації зв'язку з частотним перетворювачем марки Danfoss. Цей протокол є простим у реалізації, має добру сумісність з багатьма виробниками та використовується здебільшого для обміну даними через послідовні інтерфейси, як-от RS-485. Проте при побудові масштабнішої мережі з великою кількістю вузлів MODBUS може поступатися у швидкодії та гнучкості більш сучасним рішенням.

Оптимальним вибором у контексті даного проєкту виявилася технологія Industrial Ethernet, яка забезпечує високу швидкість обміну даними, простоту конфігурації, можливість масштабування системи та підтримку широкого спектру промислових протоколів. До переваг даного рішення також слід віднести можливість прямого підключення до програмованого логічного контролера Siemens S7-1200 без необхідності придбання додаткових комунікаційних модулів. Крім того, використання Industrial Ethernet дає змогу інтегрувати до мережі панель оператора, станції вводу-виводу ET-200SP та інші периферійні пристрої. Завдяки підтримці вільної побудови топології мережі, включно з шинною, зіркоподібною чи деревоподібною, Industrial Ethernet забезпечує високу гнучкість у проєктуванні інфраструктури.

Контролери серії Siemens S7-1200, починаючи з версії V2.0, оснащуються вбудованим інтерфейсом PROFINET, що надає широкі функціональні можливості. Серед них – програмування та діагностика контролера через середовище STEP 7 Basic або STEP 7 Professional, обмін даними з HMI-пристроями, зокрема SIMATIC WinCC, та іншими контролерами, реалізація функцій клієнта або сервера за протоколом S7, підтримка обміну даними через протоколи MODBUS TCP, TCP/IP, ISO-on-TCP і UDP. Крім того, PROFINET підтримує функціонал вбудованого Web-сервера, що дає змогу здійснювати дистанційну діагностику та оновлення прошивки контролера.

Окремо варто відзначити можливість обслуговування систем розподіленого введення/виводу за допомогою PROFINET IO. У стандартній конфігурації підтримується підключення до восьми пристроїв, а в контролерах,

починаючи з версії CPU V3.0 – до шістнадцяти пристроїв. Такий підхід дозволяє ефективно масштабувати систему без необхідності повної перебудови мережевої інфраструктури. Таким чином, Industrial Ethernet у поєднанні з PROFINET став найраціональнішим вибором для реалізації зв'язку між компонентами системи.

У підсумку, з урахуванням усіх особливостей обладнання, яке необхідно інтегрувати в мережу — панелі оператора, PG/PC (програмувального пристрою), ПЛК Siemens S7-1200, станції розподіленого вводу/виводу та частотних перетворювачів — було прийнято рішення побудувати мережу за шинною топологією. Такий підхід забезпечує простоту розгортання, надійність з'єднань, гнучке розміщення пристроїв і ефективну організацію обміну даними в умовах промислової експлуатації.

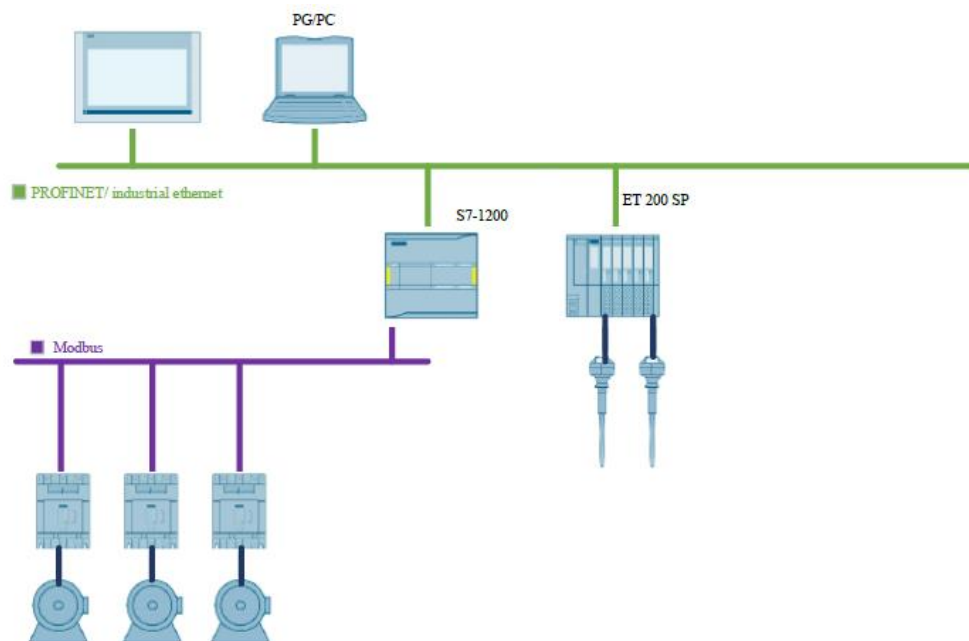


Рисунок 3.6. Зовнішній вигляд топології мережі автоматизованої системи керування

3.4. Розробка алгоритмів роботи елементів автоматизованої системи сушіння зерна соняшника

Оператор запускає режим сушіння насіння соняшника, регулює температурні параметри сушіння та визначає швидкість відведення вологи. Ці

параметри зберігаються у змінній, і функція програми оцінює, чи відповідають задані налаштування номінальним значенням. Якщо є розбіжності, він надає дозвіл для вирішення проблеми, що призводить до активації одного біта в змінній.

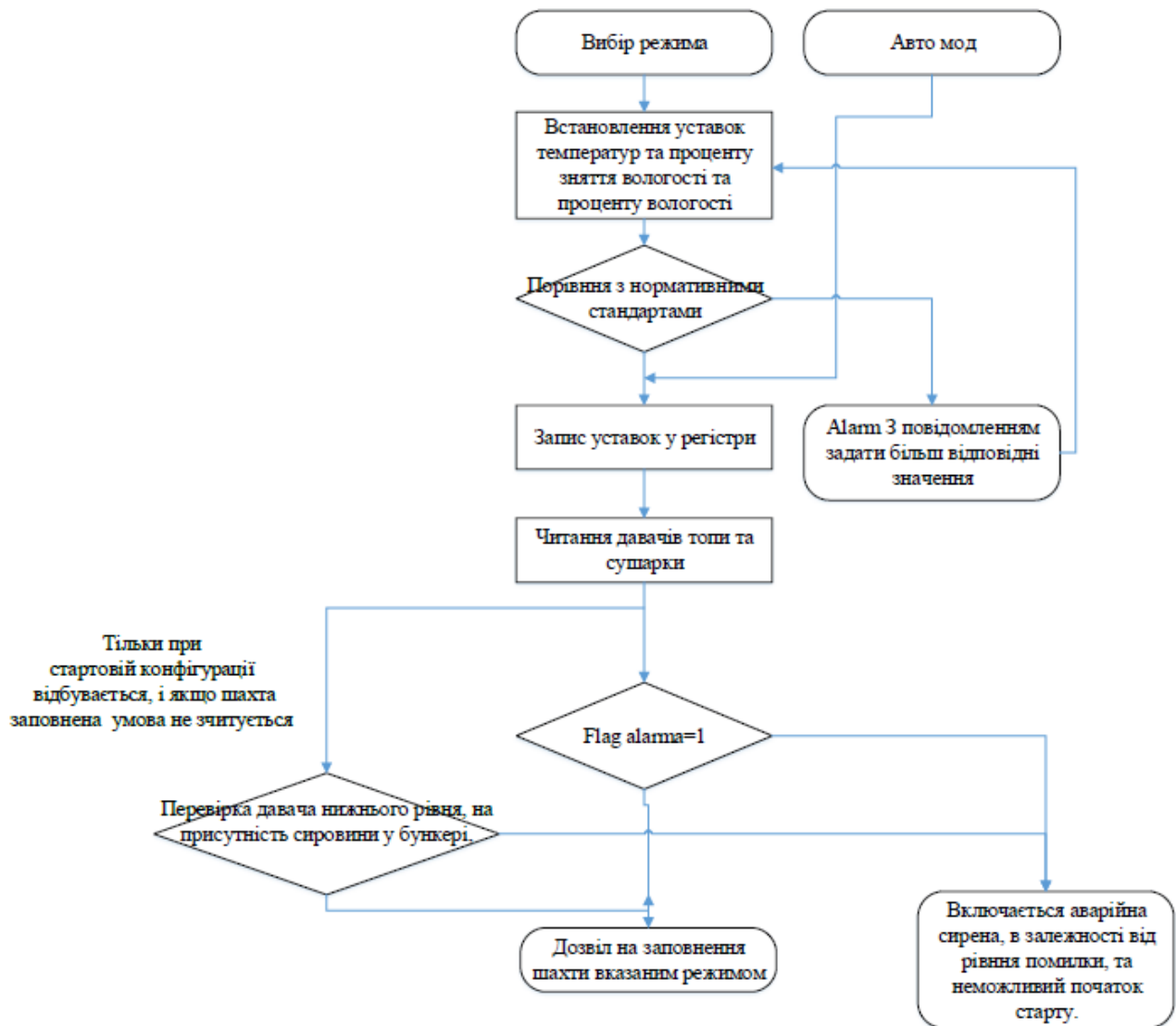


Рисунок 3.7 Алгоритм транспортування сировини

Запуск конвеєра, елеватора і відкриття засувки може відбутися за умови, що датчики не вказують на помилки і активований біт авторизації на заповнення шахти. Під час фази запуску відбувається безперервне опитування датчиків елеватора та конвеєра, датчиків температури ролика, датчика швидкості валу елеватора, датчика переміщення стрічки (індуктивного), датчика рівня колодки

та індуктивного датчика для підтвердження руху конвеєра та положення стрічки. Якщо будь-який із датчиків елеватора активує тривогу, записується біт помилки, що запобігає подальшій роботі елеватора до усунення несправності. Крім того, якщо індуктивний датчик, який контролює швидкість конвеєра, не може зареєструвати біт у реєстрі протягом 5 секунд, конвеєр неможливо запустити, а стан помилки залишається в стані скидання, доки проблему не буде усунено.

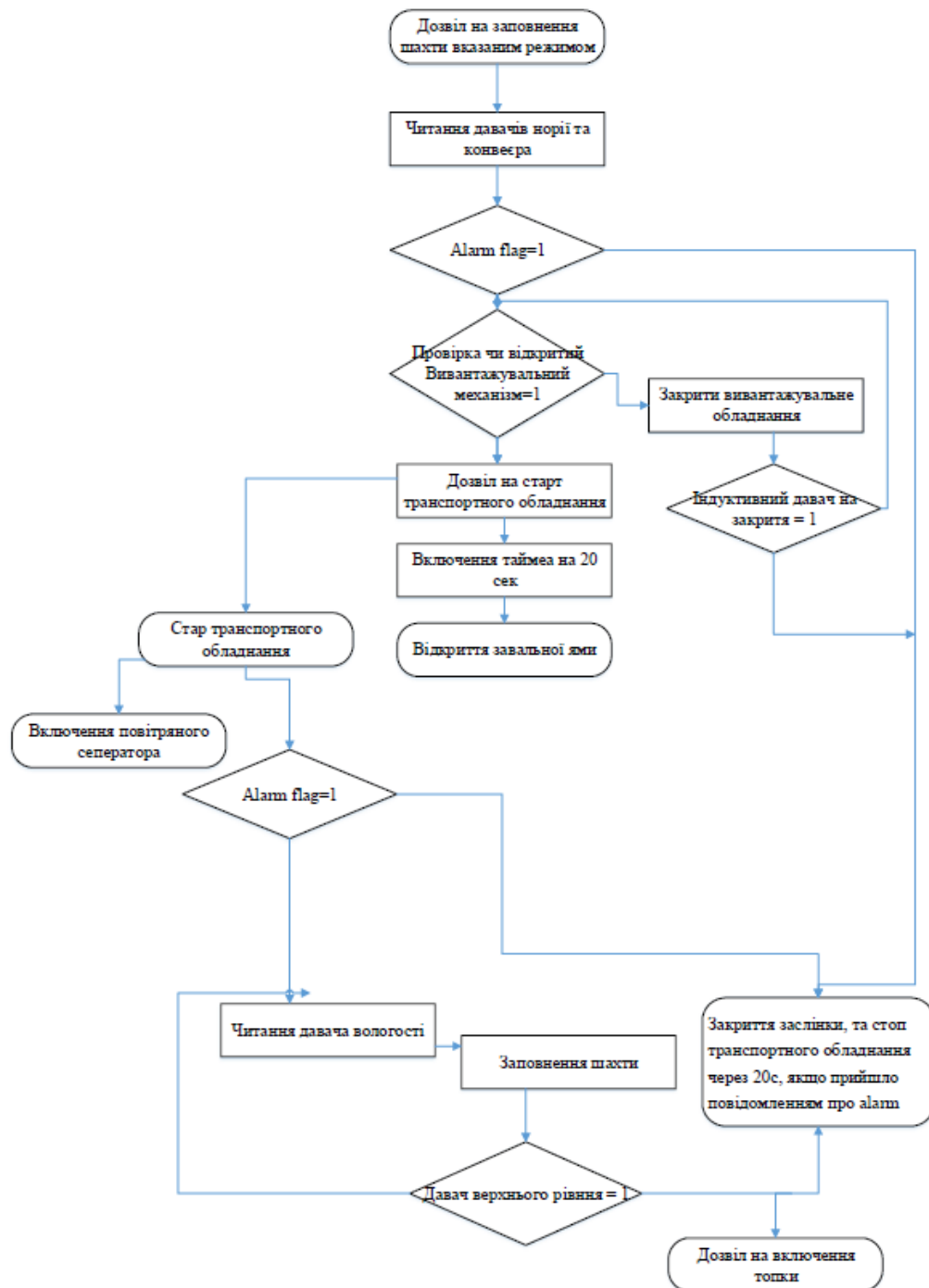


Рисунок 3.8 Алгоритм завантаження сушарки

У разі виникнення несправності в роботі навантажувального транспортного обладнання відвальна яма закріплюється, а транспортне обладнання припиняє роботу на 20 секунд до проведення необхідного ремонту. Після повторного запуску транспортного обладнання спрацьовує сигнал для запуску таймера відкриття засувки. Після відкриття засувки сировина може надходити в транспортне обладнання, яке потім транспортує її в шахту. Згодом сушильна шахта заповнюється до спрацьовування датчиків рівня, після чого засувка закривається. Після 30-секундного інтервалу елеватор і конвеєр зупиняються.

Після заповнення шахти сировиною записується початковий біт для запуску печі. Перед цим зчитується датчик і перевіряється нормальний тиск у трубопроводі. Піч починає працювати, коли 1-бітна команда передається на нормально закритий клапан для подачі газу разом із значенням типу *mw*, що вказує на заданий ступінь відкриття, яке надсилається до драйвера сервоприводу через Modbus разом із бітом для активації запальника. Якщо датчик полум'я не зареєструє значення у своїй змінній протягом п'яти секунд, газовий клапан закриється, клапан серводвигуна повернеться у вихідне положення, а на панелі оператора відобразиться повідомлення про помилку. До завершення ремонту газопостачання буде припинено. За відсутності помилок серводвигун відкривається на заданий кут, використовуючи зворотний зв'язок від датчиків температури сировини, щоб підтримувати положення на цільовій температурі 550°C.

Згодом передаються сигнали для активації заслінок витяжного повітря. Якщо датчик, призначений для відкриття, не реагує протягом заздалегідь визначеного періоду часу, індуктивні датчики повідомлять про його статус, а на панель оператора буде надіслано повідомлення про помилку. У такому разі вмикається резервний вентилятор, призначений для видалення відпрацьованого повітря. Через певний час заслінка холодної зони відкривається, і вентилятор увімкнеться.

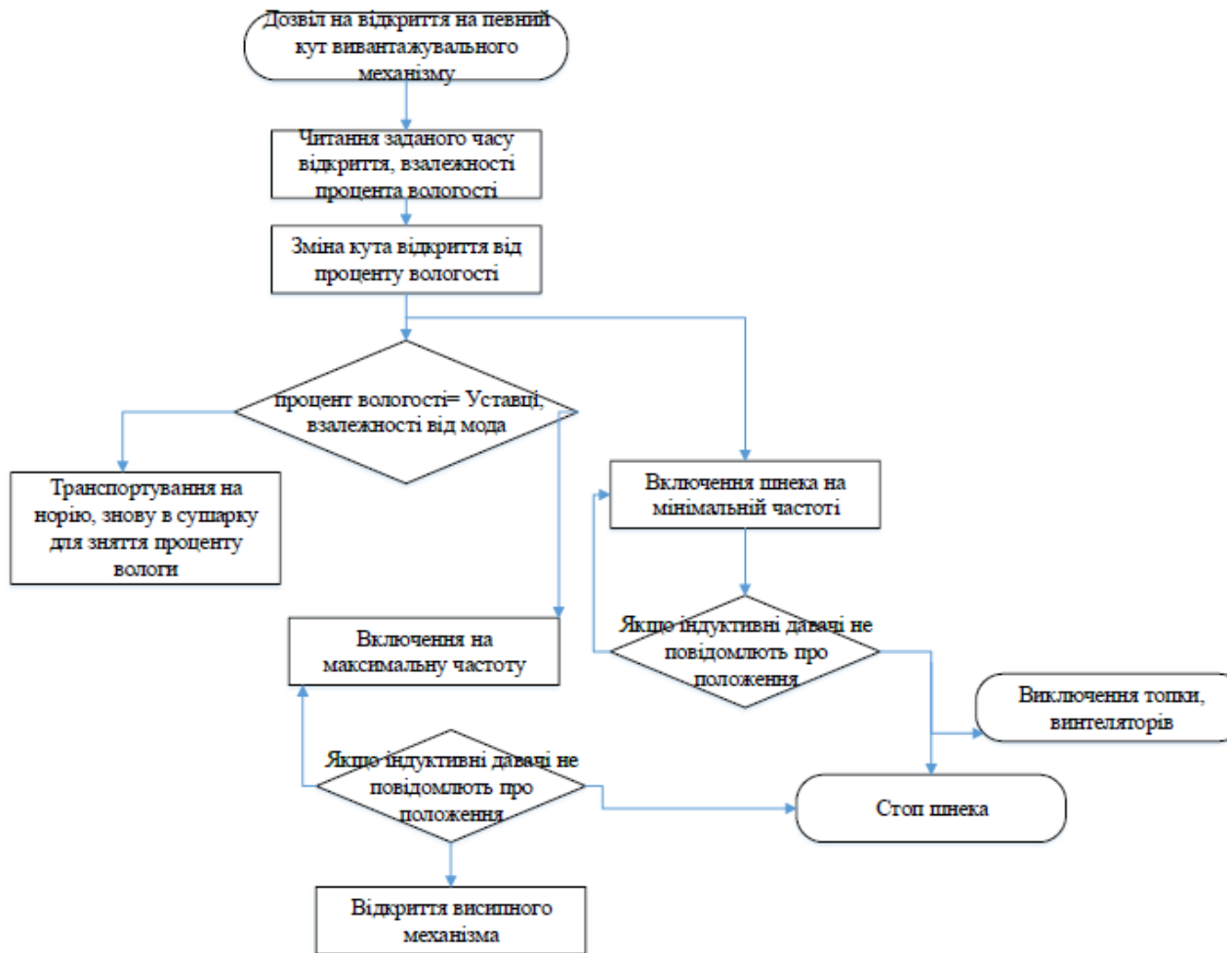


Рисунок 3.9 Алгоритм роботи вивантаження сировини

Розвантажувальний механізм активується до певного ступеня залежно від відсотка вмісту вологи. У процесі розвантаження датчик оцінює показники вологи і якщо ці показники не відповідають заданим стандартам, відкривається клапан на елеваторі, перенаправляючи матеріал назад у сушильну шахту. І навпаки, якщо сировина відповідає застосовним стандартам, другий клапан відкривається, полегшуючи її передачу до розвантажувального шнека, який згодом транспортує її до призначеного силосу, визначеного оператором.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Структурно-функціональний аналіз виробничого процесу та розроблення моделі травмонебезпечних ситуацій

У зображеннях процесів формування, виникнення аварій та виробничих травм усі випадкові події, що утворюють конкретну аварійну ситуацію, пов'язані між собою причинно-наслідковими зв'язками.

Метод логічного моделювання потенційних аварій, травм та катастроф відкриває можливість розробити досконалу систему управління ОП виробництва, яка базується на оперативному пошуку виробничих небезпек, їх глибокому аналізі й терміновому прийнятті заходів для усунення потенційних небезпек ще до виникнення травмонебезпечних та катастрофічних ситуацій. Деякі небезпечні ситуації в табл. 4.1.

Працівники, що обслуговують електрообладнання вентильної системи, зобов'язані знати Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів відповідно до займаної посади або роботи, як вони виконують, і мати відповідну групу з електробезпеки [24,25].

Працівники, що порушили вимоги Правил безпечної експлуатації електроустановок, усуваються від роботи і несуть відповідальність (дисциплінарну, адміністративну, кримінальну) згідно з чинним законодавством. Такі працівники не допускаються до робіт в електроустановках без позачергової перевірки знань вимог правил безпечної експлуатації електроустановок.

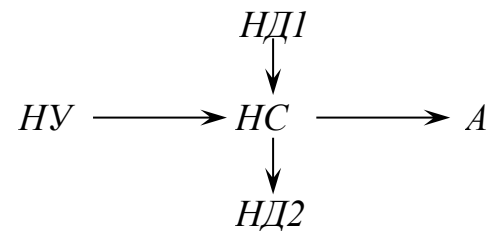
Забороняється допускати до роботи в електроустановках осіб, які не пройшли навчання і перевірку знань Правил безпечної експлуатації електроустановок.

Працівнику, який пройшов перевірку знань Правил безпечної експлуатації електроустановок, видається посвідчення встановленої форми.

Таблиця 4.1. Моделювання процесів формування та виникнення травмонебезпечних і аварійних ситуацій

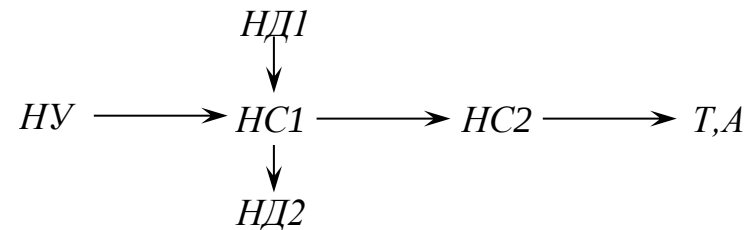
Вид робіт	Виробнича небезпека			Можливі наслідки	Заходи запобігання небезпечним ситуаціям
	Небезпечна умова (НУ)	Небезпечна дія (НД)	Небезпечна ситуація (НС)		
Використання механічної вентиляції	Оператор не перевіряв обладнання НУ	Пошкоджений трубопровід мережі НД1 Закупорений трубопровід шланга НД2	Відмова вентиляційної системи (двигуна) НС	Аварія	Розвісити плакати, провести інструктажі із експлуатації обладнання системи

Модель процесу:



Використання електронних пристроїв регулювання	Пошкоджена ізоляція провідників з'єднання НУ	Пробій на корпус НД1 Коротке замикання НД2	Ураження людини електричним струмом НС1 Виведення обладнання із ладу НС2	Травма Аварія	Заміна провідників, установлення захисного обладнання (запобіжників, захист від ураження людини струмом) тощо
--	--	---	---	---------------	---

Модель процесу:



Посвідчення про перевірку знань працівника є документом, який засвідчує право на самостійну роботу в електроустановках на зазначеній посаді за фахом.

4.2. Вимоги техніки безпеки під час роботи обладнання та протипожежні заходи

Вимоги правил техніки безпеки перед початком роботи. Для початку роботи пов'язаної з вентиляцією вимикають рубильники або автоматичні вимикачі щита низької напруги, запирають шафу і вивішують попереджувальні плакати. Також повинні бути основні захисні засоби до яких належать такі, ізоляція яких надійно захищає від робочої напруги мережі і за допомогою яких можна дотикатися до струмопровідних частин, що перебувають під напругою, без небезпеки ураження електричним струмом (інструмент з ізольованими ручками, ізолюючі струмовимірювальні кліщі, діелектричні рукавиці).

Вимоги правил техніки безпеки під час роботи. Виконавши ці операції, надівають діелектричні рукавиці і за допомогою покажчика напруги перевіряють відсутність напруги на всіх фазах. Потім, приєднавши один кінець переносного заземлення до заземлюючого пристрою, накладають його на струмоведучі частини. Після цього остаточно приступають до роботи.

Вимоги правил техніки після закінчення роботи. Після закінчення роботи системи перед її вимиканням необхідно виконати такі технічні операції: перевірити надійність кріплення, зняти переносні тимчасові заземлення, відімкнути щит низької напруги і зняти плакати з техніки безпеки; якщо тимчасове переносне заземлення встановлене на лінії, його також треба зняти тощо [21].

Протипожежні заходи на об'єкті. Для запобігання пожеж на об'єкті розроблено організаційні, експлуатаційні, технічні режимного характеру, пожежно-евакуаційні, профілактичні заходи. До організаційних заходів

відносяться правила розміщення машин, що обслуговують приміщення, обладнання, матеріалів з дотримання певних проходів, не допускається захаращення приміщень, проходів і т.д.

4.3. Розрахунок штучного заземлення

Вибір штучного заземлення проводиться в залежності від характеру ґрунту і способу забивання стержнів [24]. Розраховуємо заземлюючий контур підстанції напругою 10/0,4 кВ з глухозаземленою нейтраллю. Характер ґрунту – чорнозем з $\rho = 2 \cdot 10^4$ Ом·см. Кліматична зона – IV ($K_c = 1,2$, $K_n = 1,5$). Струм замикання на землю в мережі становить 50 А.

В відповідності з діючими правилами, опір заземлюючого пристрою повинен становити

$$R = \frac{125}{I_z} = \frac{125}{50} = 2,5 \text{ Ом}, \quad (4.1)$$

де I_z – струм замикання на землю, А.

Приймаємо 3 Ом. Контур заземлення розміщуємо в ряд з $a = 5$ м, $l = 2,5$ м. В якості стержневого заземлювача приймаємо кутникові сталь 50х50х5 мм, а протяжного – пластинчасту сталь 40х4 мм.

Опір одиночного стержня становить:

$$R_o = 0.00318 \rho \cdot K_c, \text{ Ом} \quad (4.2)$$

де K_c – коефіцієнт сезонності для стержневого заземлювача ($K_c = 1,2$).

$$R_o = 0.00318 \cdot 2 \cdot 10^4 \cdot 1.2 = 76.32 \text{ Ом}.$$

Число стержнів приймаємо 15. При цьому коефіцієнт використання стержневих заземлювачів становить $\eta_c = 0,7$. Опір всіх стержнів розтікання струму становить:

$$R_c = \frac{R_o}{n \cdot \eta_c}, \text{ Ом}, \quad (4.3)$$

де n – число стержнів, шт.

$$R_c = \frac{76.32}{15 \cdot 0.7} = 7.30 \text{ Ом}.$$

Довжина протяжного заземлювача становить $l = 35 \text{ м}$ (3500 см);
приймаємо $t = 50 \text{ см}$, $b = 0,4 \text{ см}$. Опір протяжного заземлювача становить:

$$R_{np} = \frac{0,366}{l} \cdot \rho \cdot 2 \cdot \lg \frac{2 \cdot l^2}{t \cdot b}, \text{ Ом} \quad (4.4)$$

$$R_{np} = \frac{0,366}{3500} \cdot 1,2 \cdot 10^4 \cdot 2 \cdot \lg \frac{2 \cdot 3500^2}{0,4 \cdot 50} = 3,20 \text{ Ом}$$

Коефіцієнт використання протяжного заземлювача $\eta_n = 0,71$. Дійсний опір протяжного заземлення становить:

$$R_n = \frac{R_{np}}{\eta_n} = \frac{3,2}{0,71} = 4,50 \text{ Ом} \quad (4.5)$$

Опір всього заземлюючого пристрою становить:

$$R_u = \frac{R_c \cdot R_n}{R_c + R_n} = \frac{4.5 \cdot 7.3}{4.5 + 7.3} = 2.78 < 3.0 \text{ Ом} \quad (4.6)$$

Отже, число стержнів вибрано вірно.

4.4. Захист цивільного населення

Забезпечення захисту населення і території у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій є одним з найважливіших завдань не лише підприємства, але й цілої держави. Актуальність проблеми забезпечення природо-техногенної безпеки населення і території зумовлена тенденціями зростання втрат людей і шкоди територіям, що спричиняються небезпечними природними явищами, промисловими аваріями і катастрофами.

Інженерний захист проводиться з метою виконання вимог ІТЗ із питань забудови міст, розміщення ПНО, будівлі будинків, інженерних споруд та інше.

Медичний захист проводиться для зменшення ступеня ураження людей, своєчасного надання допомоги постраждалим та їх лікування, забезпечення епідеміологічного благополуччя в районах надзвичайних ситуацій.

Біологічний захист включає своєчасне виявлення чинників біологічного зараження, їх характеру і масштабів, проведення комплексу адміністративно-господарських, режимно-обмежувальних і спеціальних протиепідемічних та медичних заходів.

Радіаційний і хімічний захист включає заходи щодо виявлення і оцінки радіаційної та хімічної обстановки, організацію і здійснення дозиметричного та хімічного контролю, розроблення типових режимів радіаційного захисту, забезпечення засобами індивідуального захисту, організацію і проведення спеціальної обробки.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

У ході виконання кваліфікаційної роботи було проведено детальний аналіз фізико-хімічних та теплофізичних властивостей насіння соняшника, що мають критичне значення для вибору оптимальних режимів сушіння. Особливості структури насіння, зокрема наявність повітряного прошарку між ядром та оболонкою, високий вміст олії, низька гідрофільність та різна теплопровідність складових частин, зумовлюють необхідність точного контролю температури, вологості та часу термічної обробки в сушильному процесі.

Було з'ясовано, що найбільш ефективною з технологічної та енергетичної точок зору є реалізація процесу сушіння в шахтних сушарках із застосуванням комбінованих методів передачі тепла - конвективного, контактного та рециркуляційного. Завдяки багатоетапному проходженню зерна через сушильні камери з можливістю повторного циклу обробки забезпечується поступове зниження вологості без порушення цілісності насіння й хімічного складу.

У роботі розроблено функціональну схему автоматизованої системи управління сушінням насіння соняшника, яка включає сенсори температури, вологості, механізми регулювання подачі сушильного агента, а також системи керування заслінками, транспортуванням і охолодженням. Особливу увагу приділено забезпеченню надійного регулювання тривалості сушіння відповідно до поточного рівня вологості насіння, що дозволяє уникнути пересушування або недостатньої обробки.

Окремо було виділено проблему енергоефективності, зокрема впровадження заходів щодо повторного використання тепла, що значно знижує витрати палива та підвищує загальну економічність процесу. Також розглянуто механізми контролю та корекції параметрів сушіння в реальному часі з метою забезпечення високої якості готової продукції та дотримання вимог до посівного й харчового матеріалу.

У межах проєкту було обґрунтовано вибір технічних засобів автоматизації, зокрема програмованого логічного контролера Siemens серії S7-

1200, який забезпечує необхідну гнучкість, надійність та точність керування параметрами сушіння. Контролер обрано з урахуванням можливостей підключення аналогових та цифрових сенсорів температури і вологості, підтримки протоколів зв'язку та сумісності з системами візуалізації.

Для реалізації функцій моніторингу та управління обрано панель оператора з інтерфейсом НМІ, що дозволяє візуалізувати процес сушіння в режимі реального часу та оперативно коригувати параметри роботи системи. У роботі також передбачено використання датчиків вологості, температури, електроприводів заслінок, вентиляторів і частотних перетворювачів для керування швидкістю транспортування.

Таким чином, результати дослідження доводять доцільність і ефективність автоматизації процесу сушіння насіння соняшника на основі сучасних підходів до моніторингу, регулювання та оптимізації параметрів технологічного середовища. Запропоновані технічні рішення можуть бути застосовані на практиці для модернізації існуючих сушильних комплексів або проєктування нових високопродуктивних та енергоощадних систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. 14.Анісімов А.В. Інформаційні системи та бази даних: Навчальний посібник для студентів факультету комп'ютерних наук та кібернетики. / Анісімов А.В., Кулябко П.П. – Київ. – 2017. – 110 с.
2. Воронін А. М. Інформаційні системи прийняття рішень: навчальний посібник. / Воронін А. М., Зіатдінов Ю. К., Климова А. С. – К. : НАУ-друк, 2009. – 136с.
3. Стефани В.П. Основи побудови АСУТП – К.: Енергія.2018 – 852 с.
4. Бандура В .; Калініченко,Р .; Котов, Б .; Спірін, А. (2018), Теоретичний обґрунтування і ідентифікація з тепло і маси процеси передачі у вібрації сушарки з ІК-потужність доповнення , Східний Європейський Journal з корпоративних технологій , т. 4/8 (94),с.50-58, Україна;
5. N. V. P. R. Durga Prasad, T. Lakshminarayana, et al., “Automatic Control and Management of lectrostatic Precipitator”, IEEE Transactions on Industry Applications, pp. 561-567, Vol. 35, No. 3, May/June, 1999.
6. Ярошенкоо НН, Чубик RV, бандура В.М., Томчук В. В., Шивер НМ, (2016 р.) Контрольована вібрація привід спрямованої дії з парним балансом. Пат ent № 116418, C2 Україна ;
7. Challenging current interpretation of sunflower movements Anne S van Wyk, Gerhard Prinsloo, Journal of Experimental Botany, Volume 70, Issue 21, 1 November 2019, Pages 6049–6056
8. Ralf Joost and Ralf Salomon. “Advantages of fpga-based multiprocessor systems in industrial applications”. In 31st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON 2005). IEEE-I ECON, November 2015.
9. Dong W, et al. Comparative evaluation of the volatile profiles and taste properties of roasted coffee beans as affected by drying method and detected by electronic nose, electronic tongue, and HS-SPME-GC-MS. Food Chem. 2019;272:723–731. doi: 10.1016/j.foodchem.2018.08.068.

10. P. K. Pathak, Y. C. Agrawal and B. P. N. Singh, Effect of elevated drying temperature on rapeseed oil quality, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 68, 8, (580-582), (1991)
11. J. A. Robertson, B. G. Lyon, W. H. Morrison and J. F. Miller, Sensory and chemical evaluation of stored oil-roasted, high oleic sunflower kernels, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 65, 6, (985-989), (1988).
12. Werner Mühlbauer and Joachim Müller, Sunflower (*Helianthus annuus* L.), *Drying Atlas*, 10.1016/B978-0-12-818162-1.00020-1, (169-174), (2020).
13. Acquisition of Sorption and Drying Data with Embedded Devices: Improving Standard Models for High Oleic Sunflower Seeds by Continuous Measurements in Dynamic Systems by Simon Munder, Dimitrios Argyropoulos and Joachim Müller. Institute of Agricultural Engineering, Universität Hohenheim, Garbenstrasse 9, 70599 Stuttgart, Germany, *Agriculture* (2019)
15. Drying process optimisation in a mixed-flow batch grain dryer, Heikki T. Jokiniemi, Jukka M. Ahokas, *Biosystems Engineering*, Elsevier, May 2014
16. Effect of air mass flow rate on the performance of a mixed-mode active solar crop dryer with a transpired air heater A. Kuhe, J. S. Ibrahim, L. T. Tuleun & S. A. Akanji, 12 Jul 2019
17. *Thermal Science and Engineering Progress*, Volume 13, October 2019, 100382
18. Design of an intelligent controller for a grain dryer: A support vector machines for regression inverse model proportional–integral–derivative controller, Aini Dai, Xiaoguang Zhou, Zidan Wu, First published: 20 January 2020
19. Monitoring Subsystem Design Method in the Information Control System, Oksana Polyvoda, Dmytro Lytvynchuk, Vladyslav Polyvoda, 24 July 2019
20. SIMATIC S7 S7-1200 Programmable controller, System manual, V4.2, 09/2016 A5E02486680-AK
21. Learn-/Training Textbook Siemens Automation Cooperates with Education (SCE) TIA Portal Modules for Automation System SIMATIC S7-1200 from Version V14 SP1, TIA Portal Module 011-001, Edition 09/2017

22. Державний стандарт України СТУ 2240-93. Насіння сільськогосподарських культур: сортові та посівні якості, технічні умови.

23. Насіння олійних культур. Методи визначення вологості: ДСТУ4811:2007.– [Чинний від 2009–01–01].–К.: Держспоживстандарт України, 2008.–11с.

24. Пістун І. П., Тимочко В.О., Городецький І. М.. Березовецький А. П. Охорона праці (гігієна праці та виробнича санітарія): навч. посібн. / за ред. І.П. Пістуна. Ч. І. Львів: Тріада плюс, 2011. 224 с.

25. Пістун І. П., Тимочко В.О., Городецький І. М.. Березовецький А. П. Охорона праці (гігієна праці та виробнича санітарія): навч. посібн. / за ред. І.П. Пістуна. Ч. II. Львів: Тріада плюс, 2011. 235 с.