

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Чорноморський національний університет імені Петра Могили

Факультет комп'ютерних наук

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

ДОПУЩЕНО ДО ЗАХИСТУ

В. о. завідувача кафедри АКІТ,

кандидат технічних наук, доцент

_____ М. І. Сіделєв

“ ____ ” _____ 2024 р.

МАГІСТЕРСЬКА НАУКОВА РОБОТА

на тему: «**Автоматизована система інноваційних технологій сушки
сільськогосподарської продукції**»

Пояснювальна записка

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

151 – МНР – 671. 21817102

Студент _____ Калевич Д.К.

Керівник _____ Щєсюк О.В.

Консультант _____ Григор'єва Л.І.

(дата)

Миколаїв – 2024

для працівників та оператора зерносушарки у разі виникнення надзвичайної ситуації; висновки; перелік джерел посилання.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) функціональна та загальна схема підключення, алгоритм автоматизованої системи керування зерносушаркою; код системи керування; НМІ системи керування.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Щєсюк О.В., доцент кафедри АКІТ	13.10.2023	
2	Щєсюк О.В., доцент кафедри АКІТ	03.01.2024	
3	Щєсюк О.В., доцент кафедри АКІТ	03.04.2024	
4	Григор'єва Л.І., професор кафедри екології	19.04. 2024	

7. Дата видачі завдання «17» жовтня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Затвердження пропозицій теми від керівника	20.09.2023	
2	Обговорення із студентом затвердженої теми	01.10.2023	
3	Формування завдання	13.10.2023	
4	Визначення актуальності, об'єкту, предмету	01.11.2023	
5	Пошук літератури, патентний пошук, уточнення задач дослідження	15.11.2023	
6	Виконання першої частини	01.12.2023	
7	Аналіз керівником записки першої частини (ЕВ*), формування зауважень та пропозицій	29.12.2023	
8	Опрацювання другої частини	01.03.2024	
9	Робота над третьою частиною	03.04. 2024	
10	Робота над розділом з охорони праці	12.05. 2024	
11	Передзахисти	15.05. 2024	
12	Передача (ДВ) кваліфікаційної роботи	16.06. 2024	

*ЕВ – електронний варіант, ДВ – друкований варіант.

Студент _____ Калевич Д. К.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

_____ Щесюк О. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Калевич Д.К. Автоматизована система інноваційних технологій сушки сільськогосподарської продукції. Магістерська наукова робота зі спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно - інтегровані технології. – Миколаїв, ЧНУ ім. Петра Могили, 2024. – 89 сторінок, 29 рисунків, 3 таблиць.

Магістерська робота присвячена дослідженню використання теплових насосів в конвективній сушарці сільськогосподарської продукції, а також розробці автоматизованої системи керування зерносушаркою. В ході роботи розроблено модель системи на базі мікропроцесорного контролера Siemens Simatic S7-1200.

Створено функціональну схему, вибрані елементи системи, накреслено загальну схему підключень, пророблено алгоритм роботи, написано програмний код автоматизованої системи керування зерносушаркою, розроблено мнемосхему оператора (HMI), а також досліджено математичну модель енергоефективності теплового насосу.

Питання заощадження енергоресурсів при використанні зерносушарок завжди було актуальним, а особливо зараз в умовах війни та постійних обстрілів енергетичної інфраструктури. В умовах війни, великих проблем із ресурсами та потребою максимально ефективно виконувати технологічні операції українські аграрії шукають можливості зменшити витрати й збільшити продуктивність.

Будь-яка автоматизація сушарки може бути визнана досить ефективною, якщо досягнуто скорочення енергетичних витрат і вплив людського фактора.

Незважаючи на велику кількість запропонованих способів автоматизації, актуальність проблеми не знижується. Одна з причин - використання застарілих методів керування системами сушіння.

ANNOTATION

Kalevych D.K. Automated system of innovative technologies for drying agricultural products. Master's scientific work on the specialty 151 Automation and computer-integrated technologies. - Mykolaiv, Petro Mohyla Black Sea National University, 2024. - 89 pages, 29 images, 3 tables.

The magister's thesis is dedicated to the study of the use of heat pumps in convective drying of agricultural products, as well as the development of an automated control system for grain drying. In the course of work, a system model based on a Siemens Simatic S7-1200 microprocessor controller was developed.

The functional diagram was created, system elements were selected, a general connection diagram was drawn, an operation algorithm was worked out, the program code of the automated grain dryer control system was written, an operator mnemonic diagram (HMI) was developed, and a mathematical model of the energy efficiency of the heat pump was also investigated.

The issue of saving energy resources when using grain dryers has always been relevant, and especially now in the conditions of war and constant shelling of the energy infrastructure. In the conditions of war, great problems with resources and the need to perform technological operations as efficiently as possible, Ukrainian farmers are looking for opportunities to reduce costs and increase productivity.

Any automation of the dryer can be recognized as quite effective, if a reduction in energy costs and the impact of the human factor is achieved.

Despite the large number of proposed methods of automation, the relevance of the problem does not decrease. One of the reasons is the use of outdated methods of managing drying system.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА ПАТЕНТНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ	5
1.1 Принцип сушки зерна.....	5
1.2 Типи зерносушарок і технологія сушки	13
Висновки до розділу 1	25
2 ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ МІКРОКЛІМАТУ	26
2.1 Особливості побудови системи керування зерносушаркою	26
2.2 Функціональна схема системи керування зерносушаркою	28
2.3 Вибір засобів для реалізації функціональних блоків системи	30
2.4 Загальна схема підключення.....	49
2.5 Опис спеціального програмного забезпечення для мікропроцесорного контролера (алгоритм та програма для ПЛК)	63
2.6 Алгоритм роботи.....	65
Висновки до розділу 2	68
3 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗЕРНОСУШКИ НА БАЗІ ТЕПЛОВОГО НАСОСУ	69
3.1 Постановка задачі дослідження.....	69
3.2 Аналіз енергетичних показників процесу теплонасосного сушіння	69
Висновки до розділу 3	74
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	75
4.1 Заходи з охорони праці.....	75
4.2 Безпека у надзвичайних ситуаціях	84
Висновки до розділу 4	86
ВИСНОВКИ	87
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	88

ВСТУП

Актуальність теми. Питання заощадження енергоресурсів при використанні зерносушарок завжди було актуальним, а особливо зараз в умовах війни та постійних обстрілів енергетичної інфраструктури. В умовах війни, великих проблем із ресурсами та потребою максимально ефективно виконувати технологічні операції українські аграрії шукають можливості зменшити витрати й збільшити продуктивність.

Будь-яка автоматизація сушарки може бути визнана досить ефективною, якщо досягнуто скорочення енергетичних витрат і вплив людського фактора.

Незважаючи на велику кількість запропонованих способів автоматизації, актуальність проблеми не знижується. Одна з причин - використання застарілих методів керування системами сушіння.

Мета: розробка автоматизованої системи сушки сільськогосподарської продукції, що базується на інноваційних методах автоматизації за допомогою теплового насосу.

Об'єкт: системи сушіння зерна

Предмет: будова системи сушки сільськогосподарської продукції, її моделювання, отримання результатів та подальша її розробка.

Основні задачі:

1. Проаналізувати існуючі методи та системи сушіння зерна, конкурентні рішення, патенти.
2. Розробити функціональну схему.
3. Підібрати компоненти АСК на основі функціональної схеми.
4. Розробити схему підключення компонентів.
5. Розробити алгоритм роботи системи.
6. Написати програму системи.
7. Створити НМІ системи.

8. Розрахувати математичну модель енергетичної ефективності теплового насоса.
9. Розглянути питання охорони праці.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА ПАТЕНТНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ

1.1 Принцип сушки зерна

У багатьох районах країни природно-кліматичні умови зумовлюють прибирання значної частини врожаю зернових, олійних та інших культур з підвищеною вологістю, при якій не може бути забезпечене їх тривале зберігання.

Основна ціль в сушінні сільськогосподарських продуктів полягає в зменшенні його вологості до рівня, коли продукти будуть зберігатись і не псуватись. Проте сушіння використовують не лише для зменшення рівня вологи в продукті. Одночасно з цим в зерні проходить ряд фізичних і біохімічних процесів, що впливають на якість зерна. При сушінні роль повітря не обмежується функціями теплоносія і вологопоглинача. Кисень з повітря бере участь в біохімічних процесах в зародку і ендоспермі, які посилюються при підвищенні температури. При цьому інтенсифікуються процеси фізіологічного дозрівання зерна, що має велике значення для поліпшення його якості. Вчасно і правильно проведена сушка підвищує стійкість зерна при зберіганні, покращує його насінневі та продовольчі властивості.

Сушка прискорює післязбиральне дозрівання зерна, вирівнює зернову масу за ступенем зрілості і вологості, покращує зовнішній вигляд зерна. Сушка робить позитивний вплив на якість продуктів переробки зерна. Сушка впливає на шкідників і патогенну мікрофлору зерна, дозволяє в деяких випадках поліпшити технологічні властивості дефектного зерна (пошкодженого). Таким чином, сушка дозволяє привести зерно в стійкий стан для зберігання і поліпшити його якість.

Сушка зерна і насіння заснована на двох принципах: видалення вологи з зерна без зміни її агрегатного стану і без підведення тепла. Зі зміною

агрегатного стану вологи в зерні (шляхом перетворення рідини в пар) за допомогою підведення тепла.

На першому принципі заснований **сорбційний спосіб сушіння**. У вологе зерно додають сорбент – речовину, яка поглинає зайву воду. Це може бути хлористий кальцій, тирсу, силікагель та інші варіанти сумішей. Головний критерій – легкість відокремлення додаткової речовини від зерна. Іноді змішують вологе та сухе зерно, щоб відсоток вологості розподілився на більший обсяг, і відповідно скоротився. У деяких випадках використовують різні культури, наприклад, до пшениці додають овес або ячмінь. Різновидом цього способу є **хімічна сушка** [1]. Її найбільш доцільно застосовувати для зниження вологості насіння бобових культур (вика, горох, соя, квасоля). Внаслідок своїх морфологічних особливостей (щільні насінні оболонки) і хімічного складу (високий вміст білка) ці насіння дуже погано віддають вологу при тепловій сушці. Нагрівати їх сильно не можна, так як вони сильно розтріскуються. Саме для таких культур і розроблений хімічний спосіб сушіння. У нашій зоні він застосовується вкрай рідко, але з його технологією необхідно ознайомитися.

Метод цей заснований на високій водопоглинальній здатності деяких хімічних речовин, зокрема, технічного сульфату натрію (Na_2SO_4) або природного озерно-морського мінералу - мірабіліту. Ці речовини повинні мати перед їх використанням вологість 1-5%. Сушку ведуть, змішуючи порошок з насінням. При початкової вологості зернової маси 20% на 1 т насіння беруть 60 кг безводного порошку зазначених вище препаратів. При вихідної вологості насіння 25% беруть 120 кг на тонну, при 30% - відповідно 180 кг. Змішування ведуть на майданчику під навісом. Суміш насіння з препаратом потрібно регулярно перемішувати, так як процес відібрання води у насіння супроводжується підвищенням температури. Перемішування виробляють 3-4 рази за добу. Тривалість сушіння - 5-10 діб, в залежності від початкової вологості насіння. Після висушування сорбент відокремлюють від зернової маси на будь-якої сепаруючої зерночисної техніки. Препарат після

використання має дуже високу вологість - 40-50%. Повторне його застосування можливе лише після його висушування, використовуючи сушарки, або на наступний рік після висушування його на сонці. Висока вартість і трудомісткість хімічного способу сушіння обмежує його застосування.

На другому принципі засновані контактний, радіаційний і конвективний способи сушіння та передачі тепла.

Контактний (кондуктивний) спосіб. Використовується процес передачі тепла теплопровідністю. Спосіб заснований на прямому контакті зерна з поверхнею, що виділяє тепло. При такому способі зерно не може просушитися рівномірно, оскільки нижній шар буде нагрітий сильніше, ніж той, що не стикається з теплою поверхнею. Цей спосіб вимагає великої витрати палива, малопродуктивний, а тому має обмежене застосування.

Радіаційний спосіб сушіння полягає в тому, що теплота підводиться до висушують зерну у вигляді променевої енергії від сонячних або інфрачервоних променів [2]. Прикладом є повітряно-сонячна сушка, коли волога випаровується тільки через поверхню насипу зернової маси під впливом сонячної радіації і вітру. Чим тонше шар зерна, тим інтенсивніше йде його висушування. Тому при сушінні зерна пшениці та ячменю висота його шару повинна бути не більше 20 см, а для дрібнонасієних культур - 5-10 см.

Повітряно-сонячне сушіння. Випромінювання може бути природним, у вигляді сонячних променів, штучним, у вигляді інфрачервоних ламп. При природному сушінні на сонці важливим фактором є погода, тому такий спосіб незручний і не залежить від людини. При сушінні інфрачервоними променями зерно прогрівається рівномірно, проте для генерації випромінювання потрібна велика напруга, тому сушарки, що працюють на цьому принципі, витрачають дуже багато енергії.

Площа для сушіння зерна повинна мати асфальтове покриття [3]. Грунтові або бетонні майданчики необхідно ізолювати від зерна плівкою, щоб уникнути зволоження його нижніх шарів від вологи ґрунту. Зерно на

майданчику краще розсипати нерівним шаром, а гребенями зі спрямуванням їх з півдня на північ. У цьому випадку значно збільшується площа поверхні зернового насипу і створюється різниця в парціальному тиску водяної пари між підставою і вершиною гребеня, що сприяє більш інтенсивному випаровуванню вологи. Для успішної сушки зернову масу періодично (через 2-3 години) перелопачувати, перемішуючи нижні шари з верхніми, вже висохлими. У разі необхідності повітряно сонячну сушку можна продовжити і на наступний день. Тільки на ніч необхідно зібрати зерно в купу і вкрити її брезентом або плівкою. Повітряно-сонячна сушка широко застосовується в господарствах південної зони внаслідок її простоти, низькою трудомісткості і затратності. При цьому не тільки не потрібно дороге паливо для теплових сушарок, але і виявляється позитивний вплив на зернову масу. По-перше, в зерні енергійніше йдуть процеси післязбиральної дозрівання. Подруге, при опроміненні зерна сонцем відбувається часткова або навіть повна стерилізація зернової маси від мікроорганізмів, особливо від найбільш небезпечних з них - цвілевих грибів. По-третє, важливим позитивним ефектом цього способу сушіння є знезараження зернової маси від кліщів і комах: при висоті насипу 4-5 см вони гинуть практично повністю. Різновидом повітряно-сонячного сушіння можна вважати перекидання партії зерна зерномета і зерноавантажувача з одного бунту в інший. Цей прийом дозволяє швидко знизити фізіологічну активність зернової маси внаслідок її підсушування та охолодження (в разі, якщо температура повітря нижче температури зерна).

Конвективний спосіб сушіння - це спосіб, при якому тепло передається зерну конвекцією від рухомого агента сушіння (підігрітого повітря або суміші його з топковим газами) [4]. Агент сушіння поряд з передачею тепла поглинає і видаляє вологу з зерна. За цим способом працюють сушарки різних конструкцій. Теплова сушка зерна в зерносушарках є найбільш продуктивною і технологічно ефективною, хоча і досить дорогим.

При конвективному способі теплопередачі головною технологічною характеристикою є стан шару зерна в процесі його сушіння і охолодження.

Шар зерна може перебувати в нерухомому і в рухомому станах. При сушінні в нерухомому стані швидкість руху зерна дорівнює нулю, а швидкість руху агента сушіння менше критичної швидкості частинок зернової маси. Цей принцип використовують в жалюзійних, лоткові, стелажних, камерних сушарках періодичної дії і в установках для активного вентилявання. Основні параметри таких сушарок: температура агента сушіння 35-40 ° С, тобто нижче гранично допустимої температури нагріву зерна і насіння, з'їм вологи 0,5-1,5% за 1 год, витрата теплоти 8000-20000 кДж на 1 кг випаруваної вологи . Сушарки цього типу мають низький ККД і не забезпечують необхідну рівномірність сушіння. При сушінні в рухомому стані швидкість руху зерна більше нуля, а швидкість агента сушіння менше критичної швидкості частинок, що висушується зернової маси. Цей принцип покладено в основу роботи шахтних, рециркуляційних, барабанних сушарок безперервної дії. Температура агента сушіння в цих сушарках висока, а витрата теплоти становить всього 5000-6000 кДж на 1 кг випаруваної вологи. Вони забезпечують швидку і рівномірну сушку зерна і насіння.

Використанням **інфрачервоного випромінювання для сушки** зерна Процес інфрачервоного сушіння зернових має суттєві переваги порівняно з сушінням конвективним методом, через те, що не використовується органічне паливо. Інфрачервоні промені, знаходяться в спектральному проміжку між 760 нм та 420 мкм, та характеризуються високою тепловою дією, тому значно поширене використання ІЧ випромінювання в сільському господарстві для сушки зерна, теплової дезінсекції та ін. Принцип роботи інфрачервоного методу полягає в тому, що волога, яка знаходиться всередині зернини, поглинає інфрачервоні промені, через це відбувається її нагрівання. Іншими словами, енергію безпосередньо підводять до вологи, через це і вдалося досягти не лише високої ефективності, а й високої економічності. При використанні даного способу, відпадає потреба в перевищенні температури вологого зерна. Тому, процес випаровування можливо провести досить інтенсивно.

Одночасно, інфрачервона сушка зерна при температурі 40-60°C приводить до знищення шкідливої мікрофлори, що наявна на поверхні зерна, через це воно стає чистим. Окрім цього, низькі температури не нагрівають технічне обладнання, і через це втрати тепла через вентиляцію відсутні. Завдяки інфрачервоному випромінюванню, є можливість передачі енергії коли відсутній контакт між зерном та джерелом випромінювання, так як повітря не створює перешкод для проходження ІЧ променів. Інфрачервоне випромінювання використовують для передпосівної обробки: впливом на насіння для зниження твердості насіння, а також для благотворного впливу на посівні якості. Інфрачервона обробка насіннєвих культур проходить протягом кількох хвилин, а сушка методом вентиляції потребує кількох днів. При інфрачервоному опроміненні потужністю 40...50 Вт/м² відбувається активація ферментів насіння, за 15...25с, температура зернини зростає до 30...50°C це позитивно впливає на якість, урожайність зерна, а також на швидкість проростання. Інфрачервоне випромінювання також має дезінсекційну дію і є ефективним методом знезараження зернових культур і дозволяє захистити насіння від впливу шкідливої мікрофлори. При дезінсекції впливають потужністю 17 кВт/год. І при цьому якість зерна не погіршується.

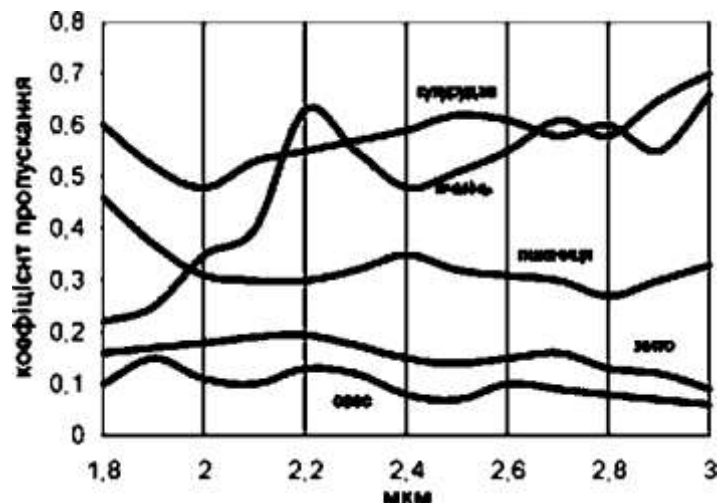


Рисунок 1.1.1 — Залежність коефіцієнта пропускання ІЧ випромінювання для різних видів зерна

Різні зернові культури по різному пропускають інфрачервоне випромінювання (рисунок 1.1.1). Під час опромінення зерна, відбувається його швидке нагрівання, проте зернина прогрівається не повністю, а лише верхні шари. Просушування верхніх шарів зерна ефективний особливо тоді, коли потрібно знімати оболонку (луску) і підвищує якість облучення насіння. Метод інфрачервоної сушки потребує значних затрат енергії, через це часто використовують комбіновані методи комбінуючи, наприклад, з активною вентиляцією. Ще одним недоліком даного виду сушки полягає в тому, що волога всередині довго зберігається, а поглинання теплоти відбувається завдяки зовнішній поверхні зерна.

До переваг сушки інфрачервоним випромінюванням можна віднести простоту та високу продуктивність обладнання для сушки, яким можна випарувати близько 25 % води із зерна протягом 90-100 с, а потім, вже з прогрітого зерна протягом 5-6 хвилин випаровується залишкова волога. Досягти вологості 12-14% можна за 8-10 хвилин [5]. Використовуючи даний метод, можна досягнути високої якості зерна після сушіння, захистити від впливу шкідників, а також поліпшити передпосівні якості насіння різноманітних зернових культур.

Сушіння зерна з використанням електромагнітного поля НВЧ

Для електромагнітних хвиль суха складова зернини не створює перешкод для проходження. Сушіння зерна з використанням імпульсного електромагнітного поля (ІЕМП) полягає в тому, що електромагнітні хвилі певної довжини активно поглинається водою в зерні, а суха частина матеріалу під час впливу електромагнітного випромінювання не нагріваються

Волога, нагріта при впливі електромагнітного поля НВЧ, віддає частину теплоти сухій складовій матеріалу, проте кількість цієї енергії досить мала. Тому виготовлення сушарок, принцип роботи яких оснований на використанні електромагнітного поля, є досить перспективним.

В основі представленого способу сушіння зерна лежить вплив інтенсивного електромагнітного поля надвисоких частот на матеріал [6].

Під час впливу електромагнітного поля НВЧ на молекули води, включаючи вологу в зернині, спостерігається ефект, що отримав назву «молекулярне тертя». В результаті даного ефекту, волога що зв'язана в матеріалі, виділяє теплову енергію, при цьому відбувається нагрів матеріалу «зсередини». При підвищенні температури, в шарах зернини виникає градієнт вологовмісткості і розпочинається випаровування води (рисунок 1.1.2), волога рухається до поверхні зернини. Сушіння продукту не зупиняється навіть при зниженні вологості матеріалу, а на завершальних стадіях значно ефективніший порівняно з традиційними методами сушки.

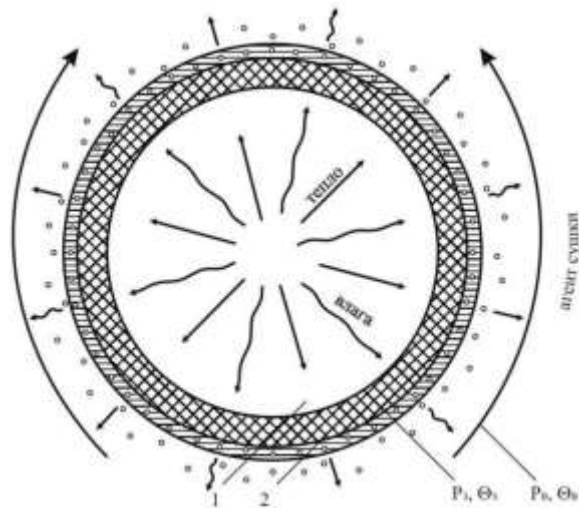


Рисунок 1.1.2 — Механізм видалення вологи із зерна при сушінні електромагнітним полем НВЧ.

Мікрохвильова обробка досить перспективна. НВЧ енергія виробляється генераторами, які працюють завдяки електричній енергії що являється екологічно чистотою. Електромагнітне поле проникає крізь весь об'єму матеріалу, а інтенсивність опромінення залежить лише від діелектричних властивостей матеріалу та значення напруженості електромагнітного поля.

За законом Джоуля-Ленца можна розрахувати потужність, що виділяється при нагріві зерна полем НВЧ:

$$P = 0,556 \cdot 10^{-6} \cdot \varepsilon' \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot f \cdot E^2 \quad (1.1)$$

де, P — потужність, Вт/м³;

ε — діелектрична проникність матеріалу;

E — напруженість електричного поля, В/м;

$\operatorname{tg}\delta$ — тангенс кута діелектричних втрат;

f — частота випромінення електромагнітного поля, Гц;

Процес сушіння діелектричних матеріалів з використанням електромагнітного поля визначається як параметрами поля — напруженістю E та частотою f так і діелектричними властивостями опромінюваного матеріалу $\varepsilon/$ та tg . Це дозволяє досягнути високої продуктивності (високий ККД), рівномірного нагрівання матеріалу по всьому об'єму робочої камери, а також екологічно чистого підведення енергії до оброблюваного матеріалу. В

основі нагрівання і по-дальшої сушки матеріалів за допомогою електромагнітного поля НВЧ лежить явище діелектричної поляризації, тобто переміщення зв'язаних електричних зарядів (диполів) в певних межах (об'ємі). При впливі надвисокої частоти на матеріал, в ньому спостерігаються коливання та зміна положення зарядів, внаслідок чого з'являються струми провідності та струми зміщення.

Приведений спосіб не потребує затрат великої кількості енергії і являється більш ефективним порівняно з традиційними методами сушки. Наприклад, сушіння активною вентиляцією з використанням гарячого повітря потребує значних затрат природного газу, який є не з дешевих, в порівнянні з електричною енергією, яка використовується в НВЧ-сушарках. До того ж, НВЧ-сушарки дозволяють затратити значно менше часу на просушування необхідного матеріалу.

1.2 Типи зерносушарок і технологія сушки

У сільському господарстві в основному застосовуються шахтні і барабанні зерносушарки, які працюють як автономно, так і входять до складу зерносушильних комплексів КЗС [7]. На хлібоприймальних підприємствах також використовуються високопродуктивні рециркуляційні сушарки.

Технологія сушіння зерна в шахтних зерносушарках.

Широко поширеним типом зерносушильної камери, у тому числі і в нових конструкціях сушарок, є шахта, що представляє собою вертикальну камеру прямокутного перерізу з зерновим шаром, що поперечно продується. Товщина шару зазвичай становить 100-250 мм і не перевищує 500 мм. Стіни шахти роблять або сітчастими або жалюзійними, або всередині шахти розміщують систему каналів (коробів), через які підводять свіжий і відводять агент сушіння. (рисунок 1.2.1).

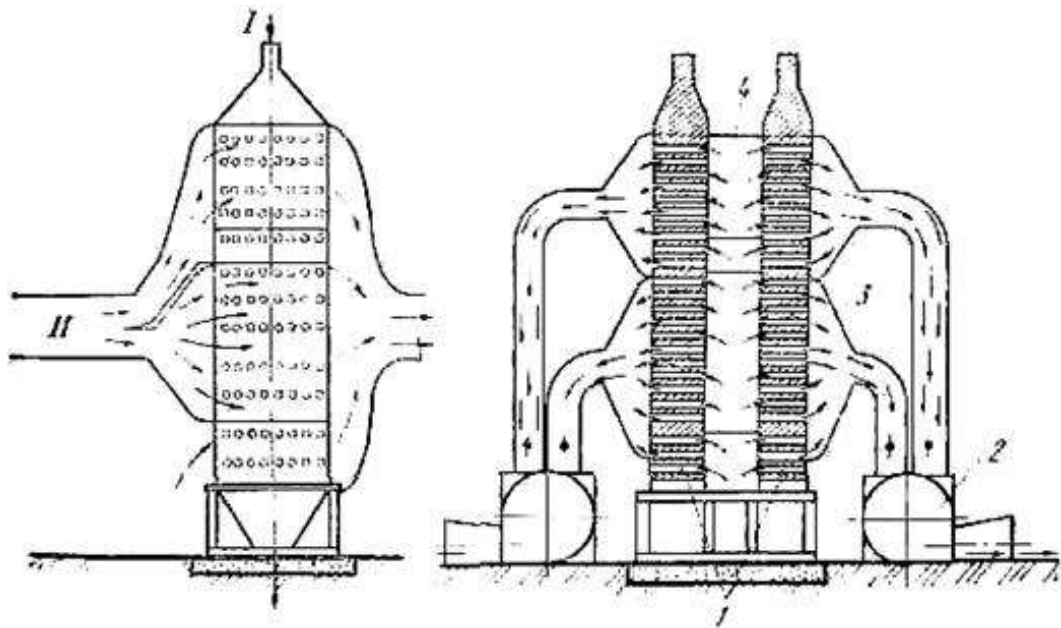


Рисунок 1.2.1. Технологічна схема шахтної зерносушарки: 1 - шахти; 2 - вентилятор; 3 - дифузор; 4 - напірна камера агента сушіння; I - зерно; II - агент сушіння

У сільськогосподарському виробництві для сушіння зерна та насіння найбільш широко використовуються високопродуктивні шахтні зерносушарки СЗШ-8, СЗШ-16 і СЗШ-16А.

У нижній частині шахти встановлюють випускний пристрій, за допомогою якого створюють підпору зерна і регулюють час перебування його в шахті. Для короткочасного нагрівання зерна застосовують камери шахтного типу з шаром, що падає. Для механічного гальмування падаючого шару зерна

всередині такої камери розміщують багатоярусну систему стрижнів або ґрат, гірлянд куль, що вільно висять, або конусів.

Завдяки тому, що шар зерна в шахті кілька розпушений, і зерно при русі повертається в різних напрямках, поліпшується його взаємодія з агентом сушіння і прискорюється вологообмін. Швидкість руху зерна і час знаходження його в шахті регулюють за допомогою випускного пристрою. Тривалість перебування зерна в шахті приблизно 40 хвилин, і за один пропуск його вологість знижується на 4-6% [8].

Щоб сушка зерна проходила у всьому обсязі шахти, її обладнають спеціальними каналами-коробами, які ніби поділяють насип на окремі пласти товщиною 100-150 мм, що відповідають товщині зони сушки. До кожного такого пласту підходить свіжий агент сушіння і після насичення вологою виводиться за межі шахти. У найпростішому вигляді короб являє собою п'ятикутний канал з листового металу з відкритою нижньою межею. Короба встановлюють в шахті рядами (в шаховому порядку) по всій її висоті. Для кожного короба в стінах шахти вирізане відповідне його перетину отвір, через яке підводиться свіжий агент сушіння, і в цьому випадку короб називається відвідним, або відводиться відпрацьований агент сушіння - відвідний короб. Вхідні отвори підвідних коробів зазвичай виходять в бік топкового пристрою, а вихідні отвори відвідних коробів - в протилежну. У всіх підвідних і відвідних коробів один торець є глухим. Число підвідних і відвідних коробів зазвичай однакове, і вони чергуються або цілими рядами або в кожному ряду. Важливе технологічне гідність шахтних сушарок полягає в тому, що в них можна в широких межах регулювати тривалість перебування зерна в сушильній камері і досить надійно забезпечувати підтримку заданого температурного ре-жиму сушіння зернової маси.

Завдяки наявності коробів весь обсяг зерна в шахті є зоною сушки, в якій відбувається безперервний процес випаровування вологи, що викликає зниження температури зерна. Отже, в шахтних сушарках температура зерна практично завжди нижче, ніж температура надходить агента сушіння, і тому

його можна нагрівати сильніше, ніж в найпростіших камерних сушарках. В результаті з'являється можливість значно інтенсифікувати сушіння зерна без погіршення його якості. Залежно від виду зерна, його вологості, цільового призначення температуру агента сушіння в шахтних сушарках підтримують на рівні 60-120 ° С.

Дуже зручна в експлуатації і рекомендується для фермерських господарств пересувна шахтна зерносушарка К4-УС2-А продуктивністю 10 т / год, змонтована на шасі автомобільного причепа МАЗ-8925.

У шахтних сушарках складно сушити зерно вологістю вище 25% і особливо вище 30%. Дана зернова маса має погану сипкість і схильна до зависання між коробами. Це збільшує тривалість обробки, перегрів і навіть псування зерна, а іноді загоряння легких органічних домішок. Для поліпшення проходження зерна через шахту його необхідно попередньо очистити від великих соломистого домішок і рослинних залишків. Поліпшенню процесу сушіння сприяє також очищення зернової маси і від дрібних фракцій домішки, що закупорюють міжзернові простору.

Багато зарубіжних фірм останнім часом віддають перевагу конструкціям сушильних камер з перфорованими стінками, що пояснюється прагненням спростити конструкцію сушарки, знизити її металомісткість.

Технологія сушіння зерна в рециркуляційних зерносушарках.

Перераховані вище недоліки майже повністю усунуті в рециркуляційних сушарках, де передбачається повернення частини просушеного зерна у суміші із сирим зерном у надсушильний бункер. У надсушильному бункері проходять процеси тепло- та вологообміну між сирим та сухим зерном, внаслідок чого сире зерно нагрівається та частково підсушується. Усе це зрештою призводить до значної інтенсифікації процесу сушіння. Шахтну зерносушарку будь-якого типу досить просто реконструювати на рециркуляційний спосіб сушіння, при цьому продуктивність підвищується на 30...50%.

У рециркуляційній сушарці зерно в камеру нагріву рівномірно надходить з бункера з завантажувальним пристроєм і падає у вигляді дощу в потоці агента сушіння, нагрітим до температури 250-350 ° С. При цьому зерно контактує з таким гарячим агентом сушки тільки протягом 2-3 с і тому нагрівається до температури не вище 55-60 ° С. Потім нагріте зерно надходить в бункер для зволоження на 10-12 хвилин, де відбувається вирівнювання температури і частковий пере-розподіл вологи між окремими зернами. Після охолодження, видалення частини висушеного зерна і додавання нових порцій сирого зерна нагрівання повторюється. Внаслідок гарного перемішування зернової маси при рециркуляції зерно просушується рівномірно, якість його зберігається, а вологість може бути знижена на 10-12% і більше. І що особливо важливо, не слід перед сушінням формувати партії зерна по вологості, як в шахтних зерносушарках.

Термічну дезінсекцію застосовують для зерна пшениці сухої та середньої сухості, призначеного на продовольчі, кормові та технічні цілі. Термічну дезінсекцію проводять на рециркуляційних зерносушарках. Вибір режиму термічної дезінсекції здійснюють з урахуванням ступеня стійкості основних видів комах шкідників хлібних запасів до високих температур і різних способів нагрівання зерна. При термічній дезінсекції необхідно дотримуватися таких умов:

- температура теплоносія зерносушарки повинна бути не нижче 300°C та не вище 400°C;
- температура нагріву зерна в теплолаогообміннику та в камері нагріву не повинна перевищувати 60°C;
- заражене зерно перед подачею до сушарки слід очистити від великих домішок;
- щоб уникнути поширення комах по території підприємства необхідно забезпечити герметичність пиловловлювачів сушарки, в які можуть потрапляти комахи, які відносять відпрацьованим теплоносієм з камери нагріву, і виключити просипи зараженого зерна.

Технологія сушіння зерна в барабанних зерносушарках.

У сільському господарстві широко використовуються для сушіння зерна стаціонарні барабанні сушарки СЗСБ-8 і СЗСБ-8А продуктивністю 8 т / год, а також пересувні барабанні сушарки СЗПБ-2,5 продуктивністю 2,5 т / год. Хороші результати дає використання сушарок СБ-1,5, встановлених на токах господарств в комплексі з агрегатом АВМ-1,5 [1].

Основним елементом барабанних сушарок є горизонтальний або трохи нахилений циліндричний барабан, що обертається зі швидкістю 2...6 об/хв, всередині якого зерно переміщається по довжині і сушиться повітряним потоком. Охолоджують просушене зерно в охолоджувальних колонках чи барабанах. Для сушіння невеликих партій продовольчого зерна та насіння олійних культур у сільському господарстві часто використовують вентильовані бункери, а для сушіння кукурудзи в качанах застосовують камерні сушарки коридорного та секційного типів (рисунок 1.2.2.).

Сушарка обладнана підйомно-лопатевою системою. Лопаті барабана в процесі обертання захоплюють зерно і піднімають його вгору. Потім зерно вільно зсипається після досягнення нею кута ската. Агент сушіння переміщується вздовж осі барабана і активно взаємодіє з зерном в процесі його пересипання. Завдяки гарному контакту агента сушіння з зерном представляється можливим за більш короткий термін, ніж в шахтних сушарках, видалити 3-5% вологи, використовуючи для цього більш інтенсивний нагрів. Час перебування зерна в барабані 15-20 хвилин. Температура агента сушіння при сушінні зерна насінневого призначення повинна бути 100-110 ° С, а при обробці продовольчого або фуражного зерна 180-250 ° С.

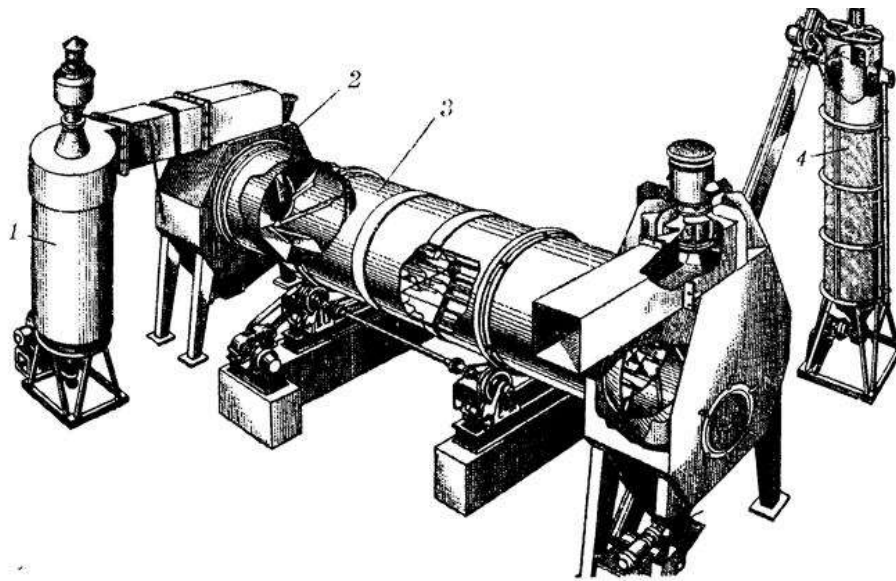


Рисунок 1.2.2. Барабанна сушарка СЗСБ-8: 1 - топка; 2 - завантажувальна камера; 3 - сушильний барабан; 4 - охолоджувальна колонка

У барабанній сушарці практично не регулюється тривалість сушіння. Час перебування зерна в барабані і швидкість його переміщення по барабану визначаються інтенсивністю потоку агента сушіння і механічним підприєм шару зерна, що надходить в барабан. Це серйозний технологічний недолік барабанних сушарок. Для повного висушування зерна підвищеної вологості його пропускають через сушилку кілька разів або використовують послідовно декілька сушарок. Так як зерно в барабані піддається підвищеним температурним і механічним впливам, ці сушарки не рекомендується використовувати для сушіння насіння, схильних до розтріскування (горох та інші бобові, кукурудза). Для сушіння насінневого зерна краще використовувати шахтні або камерні сушарки.

Конвеєрне сушіння

Є тунелем, всередині якого на сітчастій стрічці переміщується зерно, що висушується.

Переваги:

- Не травмує зерно та не утворює зернового пилу;
- За рахунок активної конвекції (малий гідравлічний опір потоку теплоносія) не допускає перегрівання зерна;

- Забезпечує рівномірне просушування всієї маси зерна;
- Повністю виключає якість зависання зерна;
- Дозволяє, не зупиняючи зерносушарку, міняти як вид зерна, так і його фракції та репродукції;
- Висока економічність за рахунок енергоносія.

Режими сушіння зерна.

Під режимом сушіння слід розуміти рекомендовану температуру агента сушіння і гранично допустиму температуру нагрівання зерна та насіння. Також необхідно контролювати загальну тривалість сушіння і встановлювати число пропусків зерна через сушарку, або циклів сушіння.

Режим сушіння визначається:

- родом і видом зерна і насіння, або культурою;
- вихідною вологістю зерна і насіння;
- цільовим призначенням і якістю зерна та насіння;
- конструкцією і типом зерносушарки.

Головна складність сушки зерна полягає в тому, щоб працювати при використанні гранично допустимих температур нагрівання агента сушіння і нагрівання зерна, забезпечити максимальну продуктивність сушарки при повному збереженні якості продукції. Перевищення встановлених температур нагрівання агента сушіння і зерна веде до псування продукції, застосування надто м'якого режиму обробки знижує продуктивність сушарок.

Температурна стійкість зерна при сушінні визначається, головним чином, температурної стійкістю його білкових речовин. Перевищення припустимої температури нагрівання зерна викликає коагуляцію білка, втрату життєвих функцій насіння і здатності їх до проростання, а у зерна пшениці - різке погіршення розтяжності білків ендосперму, зниження кількості і якості клейковини. Насіннєве зерно необхідно сушити при більш м'якому температурному режимі, так як білки зародка менш стійкі до нагрівання і, крім того, зародок знаходиться безпосередньо під оболонкою, прогрівається і

висихає в першу чергу. Тому норма вироблення при сушінні насінневого зерна в порівнянні з продовольчим знижується в 2 рази.

Насіння гороху, квасолі та інших культур мають знижену питому поверхню випаровування, що викликає пересушування поверхневих шарів насіння. При їх висушуванні відбувається ущільнення поверхневих шарів насіння, зменшення обсягу. Але так як зменшення обсягу спочатку відбувається лише в периферійних шарах насіння, а внутрішня частина залишається без зміни, це викликає великі фізичні напруги в насінні, і вони розтріскуються, спочатку тільки їхня оболонка, а потім і центральна частина. Тому насіння зернобобових культур сушать при більш м'яких температурних режимах, ніж насіння зернових культур. Нагрівання насіння бобових культур не повинен перевищувати 30-35 ° С. Відповідно знижується і продуктивність сушарок.

Для попередження розтріскування насіння, а також для проведення обробки в найбільш вигідних умовах постійної швидкості сушіння доводиться обмежувати разовий з'їм вологи у більшості типів сушарок в межах 4-6%. У наступний період зволоження в очікуванні повторного пропуску через сушарку в зерні відбувається перерозподіл і вирівнювання вологості між центральною і периферійними частинами.

Це забезпечує при повторній обробці сушку зерна при досить високій швидкості вологовіддачі. Однак обмежений з'їм вологи за один пропуск через сушарку різко ускладнює організацію процесу сушіння, змушує тимчасово зберігати не-досушене зерно, що часто призводить до його псування. Це серйозний недолік сушарок шахтного та барабанного типу.

1.3 Принцип сушки тепловим насосом

На рисунку 2.3.1 приведена план-схема різних компонентів, об'єднаних в сушильній камері. Схематично конвективна сушарка з теплонасосною системою підготовки теплоносія та процес сушіння показані на рисунку 1. Робота сушарки здійснюється таким чином. Нагріте у конденсаторі (6)

теплового насоса сухе повітря (точка a) надходить до сушильної камери (1), де обдуває візок (2) із продуктом і, відбираючи вологу від продукту, адіабатично зволожується (процес a-b). Після цього зволожене повітря розділяється на два потоки, один із яких повертається на рециркуляцію, а другий подається в тепловий насос на осушення. Осушуване повітря спочатку частково охолоджується в рекуперативному теплообміннику «повітря-повітря» (5) (процес b-c), після чого доохолоджується у випарнику (4) теплового насоса (процес c-c'-d). При цьому частина вологи, що міститься в повітрі, конденсується, і вода виводиться з об'єму сушильної камери. Після проходження через випарник (4) охоложене й осушене повітря підігрівається в рекуператорі (5) (процес d-e) і змішується з вологим рециркулюючим повітрям (процеси e-f і b-f). Змішане повітря (точка f) підігрівається в конденсаторі (6) (процес f-a), і цикл повторюється. Необхідно зазначити, що в процесі теплонасосного сушіння в конденсаторі теплового насоса виділяється більше тепла ніж може бути сприйнято в випарнику. Тому для забезпечення постійної температури сушіння надлишок тепла за допомогою додаткового зовнішнього конденсатора (7) відводиться в оточуюче середовище [9].

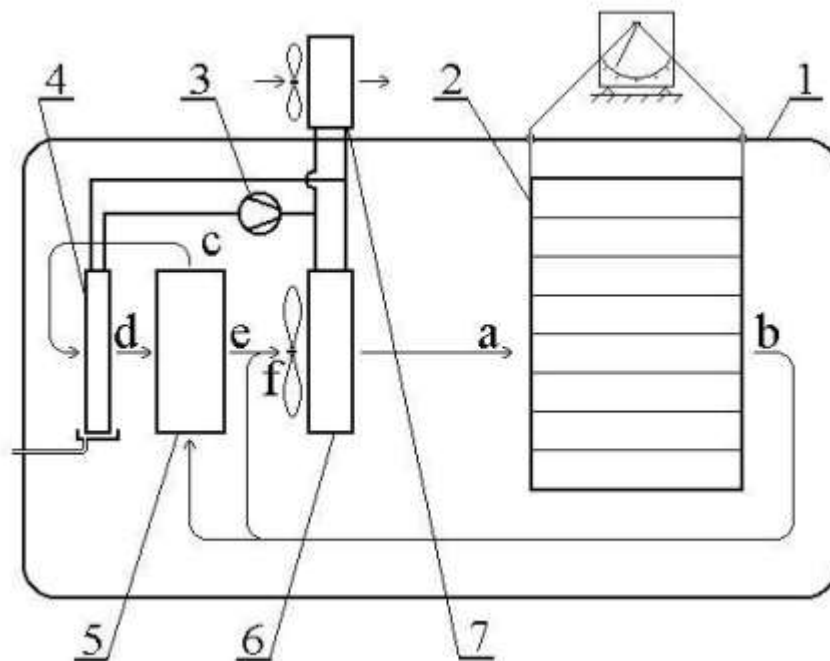


Рисунок – 2.3.1 Теплонасосна конвективна сушильна установка: 1 – сушильна камера; 2 – візок; 3 – холодильний компресор; 4 – випарник; 5 – рекуперативний теплообмінник «повітря-повітря»; 6 – конденсатор; 7 – зовнішній конденсатор.

Переваги та недоліки сушіння з використанням ТН

Як і всі інші механічні системи, сушка з використанням ТН має свій набір переваг і недоліків, які повинні бути ряс-дивимося до прийняття додатків технології сушіння.

Переваги сушки з використанням ТН:

- Підвищення ефективності. Основною перевагою сушіння з використанням ТН є поліпшення своєї енергоефективності. Вологість-ний повітря, володіє значною кількістю прихованої енергії. При цьому повітря проходить через випарник, прихована енергія відновлюється і повторно генерується назад в цикл теплового насоса. Результати рекуперації тепла в нижній споживаної енергії для кожного блоку води видаляються.
- Точний контроль умов сушки. Сушка з використанням ТН дозволяє точно і незалежно контролювати температуру, вологість і повітряний потік. Добре контрольовані умови сушки - перевага термочутливих матеріалів і значно краща якість продукції.
- Широкий діапазон умов сушіння. Широкий діапазон умов сушки, як правило, від 20 до 100°C (з допоміжним нагріванням) і відносикотельної вологістю від 15 до 80% (з системою зволоження). Цей діапазон умов сушки складає універсальну сушку, щоб сушилася багато різних типів матеріалів.
- Підвищення якості продукції. При наявності нових онлайн датчиків і сучасних контролерів, тепер можна налаштувати температуру випарника і конденсатора, створити умови сушіння відповідно з реальним часом. Ця характеристика сушки з використанням теплового

насоса важлива, щоб одержати високу якість високо-технологічної продукції.

- Збільшення пропускної здатності і зменшення вартості експлуатації. Сушку з користуванням ТН можна розглядати як «робочого коня», здатну працювати 24 години на добу. Таким чином, забезпечується пропускна спроможність. Крім того, беззбитковість - період першопочаткового капіталовкладення може значно зменшитися за рахунок зниження експлуатаційних витрат і збільшення обсягу виробництва.

Недоліки сушки з використанням ТН:

- Вихід в навколишнє середовище. Використання ХФУ озоноруйнуючих холодоагентів в більшості систем теплового насоса викликав великий інтерес у екологів. Проте, в даний час, ведеться напрямок на перехід екологічно чистих ГХФУ і навіть природні холодоагенти, такі як аміак і вода, що усувають цей недолік.
- Обслуговування. Сушка з використанням ТН потребує регулярного технічного обслуговування когось компресорів, фільтрів холодоагенту, теплообмінників і т.д., щоб утримувати сушильну установку в оптимальному експлуатаційному стані.
- Витік холодоагенту. Холодоагент потрапляє в колишнє середовище, внаслідок тріщин в трубі, при експлуатації під великим тиском. Після того, як відбувається витік, тиск в тепловому насосі поступово падає і відповідно зменшується продуктивність процесу сушіння.
- Капітальні витрати. У порівнянні з сушаркою, що використовує в якості джерела сонячну енергію, початкові капітальні витрати сушарки з використанням ТН, можуть бути вище. Більшість капітальних витрат будуть використовуватися для при-набуття контролерів, компресорів, теплообмінників і т.д. Проте, здатність сушки з використанням ТН для відновлення тепла приводить до експлуатаційних витрат і компенсує більш високі капітальні витрати.

Висновки до розділу 1

На даний час існує багато способів сушіння сільськогосподарських сипучих продуктів, таких як сушіння вентиляцією, з використанням гарячого повітря, інфрачервоного випромінювання та електромагнітного поля НВЧ.

Коли зерно просушують підігрітим або гарячим повітрям, то ймовірність зараження зерна мікроорганізмами незначна, проте процес сушіння не рівномірний; зерно, що містить велику кількість вологи не можна сушити даним методом; велика ймовірність перегріву матеріалу, що призводить до погіршення його продуктивних якостей; метод потребує значних енерговитрат.

Інфрачервоне випромінювання успішно застосовують для дезінсекції зерна; сушка цим способом набагато ефективніша, порівняно з активною вентиляцією, спостерігається більш рівномірне просушування лише на поверхні; на сушіння негативно впливає пил, який здатний осідати на випромінювачах ІЧ променів.

Застосування електромагнітних хвиль сприяє зменшенню енергозатрат; процес сушіння потребує менше часу; спостерігається підвищення якості зерна; можливість автоматизації технологічного процесу; мобільність установок, можливість використання в будь-яких місцях, де є доступ до електромережі.

Використання теплових насосів як теплогенераторів в конвективних сушильних установках дозволяє утилізувати теплоту відпрацьованого теплоносія і повернути її в процес сушіння на більш високому температурному рівні. Це дозволяє знизити енерговитрати на процес конвективного сушіння в 1,5...2,5 рази.

2 ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ МІКРОКЛІМАТУ

2.1 Особливості побудови системи керування зерносушаркою

Для сушіння зерна в нашій системі була обрана барабанна сушарка. Барабанні сушарки бувають двох видів: стаціонарні - СЗСБ-8 і СЗСБ-8М і пересувні - СЗПБ-2,5. Основним елементом барабанних сушарок є горизонтальний або трохи нахилений обертається зі швидкістю 2 ... 6 об / хв циліндричний барабан, в якому переміщається по довжині і сушиться зерно. У середині барабана в залежності від висушуємо продукту встановлюють різного типу насадки і поздовжні лопаті, що сприяють інтенсифікації процесу сушіння. Основна характеристика барабанних сушарок – волого-напруга обсягу барабана, тобто кількість випаруваної вологи з 1 м³ обсягу барабана. Величина вологонапруги залежить від типу, ступеня заповнення і частоти обертання барабана, теплофізичних властивостей і розмірів зерна, а також від температури, вологості і швидкості агента сушіння всередині барабана і коливається від 6,0 до 44,0 кг використовуваної вологи / (м³ • год). Витрата теплоти становить від 5230 до 12 500 кДж використовуваної вологи (від 1250 до 3000 ккал / кг використовуваної вологи), а витрата електроенергії - від 0,1 до 0,2 кВт • год / кг використовуваної вологи. Зерносушарка СЗСБ-8 складається з топки, завантажувальної камери, сушильного барабана, розвантажувальної камери, охолоджувальної колонки, розвантажувальної норії, вентилятора охолоджувальної колонки, вентилятора сушильного барабана, завантажувальної норії і приводного механізму. Топка зерносушарки металева циліндричної форми, що працює на рідкому паливі. Вона складається з камери згоряння, паливної системи харчування, вентилятора розпилювання палива, станини, димової труби і блокувального пристрою. Наявність полум'я в топці фіксує фотодатчик ВЕ, сигнал з якого надходить на пристрій контролю полум'я.

Завантажувальна камера встановлена поруч з переднім торцем сушильного

барабана і служить для подачі агента сушіння і сирого зерна в барабан сушарки. На верхній стінці камери розташований патрубок, що з'єднує камеру з трубопроводом подачі агента сушіння. Дно камери конусне і закінчується клапаном-мигалкою, через який надлишок сирого зерна можна видаляти з камери. На передній стінці камери є отвір для термометра, призначеного для виміру температури агента сушіння. Розвантажувальна камера служить для відведення відпрацьованого агента сушіння і виведення висушеного зерна. Привід шлюзового затвора здійснюється від електродвигуна через редуктор. Відпрацьований агент сушіння видаляється вентилятором, розташований над камерою. Охолоджувальна колонка - вертикальна, утворена з двох циліндрів, основна частина яких (нижня) перфорована, а верхня частина - з суцільного листа. Кільцевий простір між циліндрами служить ємністю для зерна, в якій відбувається його охолодження завдяки просочуванню повітря через шар зерна. подача повітря для охолодження здійснюється через отвори зовнішнього циліндра. До верхньої частини внутрішнього циліндра приєднаний всмоктуючий патрубок вентилятора, який відводить відпрацьоване повітря. Дно колонки конусне і закінчується шлюзовим затвором з приводом від електродвигуна. Працює він періодично. Включення здійснюється датчиком верхнього рівня зерна LS (SL2), коли зерно досягає максимального рівня, вимикання - датчиком нижнього рівня LS (SL1), який розташований у верхній частині охолоджувальної колонки. Зерно надходить через завантажувальну камеру в сушильний барабан зерносушарки СЗСБ-8, де лопатки барабана і хрестовини підхоплюють зерно і піднімають його вгору, потім воно зсипається вниз і далі переміщається уздовж барабана. Агент сушіння, проходячи через барабан, омиває зсипати з полиць зерно і висушує його. Зерносушарка працює під розрідженням щоб уникнути витoku агента сушіння через нещільності. Відпрацьований агент сушіння видаляється вентилятором М1, розташований під розвантажувальною камерою сушарки. Висушені зерно через шлюзовий затвор безперервно відводиться з розвантажувальної камери норією М13 в охолоджувальну колонку. Тут зерно

переміщається зверху вниз, по дорозі продувається атмосферним повітрям і охолоджується. Повітря для охолодження надходить зовні по всій висоті перфорованої частини колонки, проходить через шар зерна у внутрішній циліндр і викидається вентилятором в атмосферу. У барабанних зерносушарках швидкість пересування зерна по барабану дуже нерівномірна, внаслідок цього за вхідні параметри прийняті продуктивність сушарок і час перебування зерна в сушарці. За вихідний параметр вологості зручніше, виявилось, взяти вологооб'єм в сушарці за один прохід (рисунок 2.1.1).

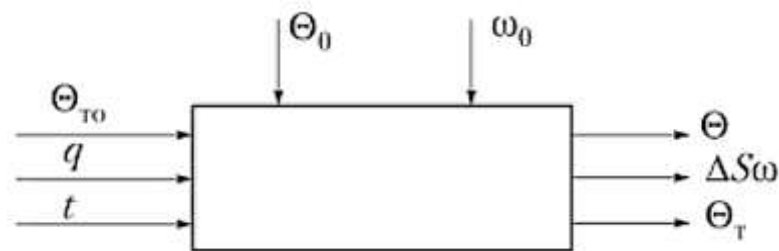


Рисунок 2.1.1 – Модель барабанної зерносушарки як об'єкта управління температурою і вологістю

Де $\Theta_{то}$, $\Theta_{т}$, Θ_0 , Θ - температура зерна на виході і на вході зерносушарки і температура теплоносія на вході і виході;

q - продуктивність сушарки;

t - час перебування зерна в сушарці;

$\Delta S\omega$, ω_0 - вологість зерна на вході і виході сушарки.

2.2 Функціональна схема системи керування зерносушаркою

Функціональна схема автоматизації (ФСА) призначена для визначення основних контурів контролю і регулювання основних технологічних параметрів. Схема автоматизації процесу в установці для сушки зерна складається з контурів вимірювання, температури, тиску та регулювання рівня і вологості.

Контур вимірювання та регулювання температури:

Регулювання та вимірювання температури відбувається в топці, сушильному барабані, охолоджуючій колоні. Вимірювання відбувається за

допомогою термометра, сигнал із датчика передається на вторинний перетворювач (1б, 2б, 3б). Сигнал із датчиків надходить на модуль аналогових входів МПК, сигнал опрацьовується в програмі, і якщо є розузгодження із заданим значенням, то на виході з МПК подається управляючий сигнал 4-20 мА, який надходить частотні перетворювачі (2в, 3в, 3г), що регулюють подачу повітря.

Контур вимірювання та регулювання тиску:

Регулювання тиску відбувається в загрузочній камері. Вимірюємо за допомогою датчиків тиску (4а, 5а, 6а). Сигнал із датчиків надходить на модуль аналогових входів МПК, сигнал опрацьовується в програмі, і якщо є розузгодження із заданим значенням, то на виході з МПК подається управляючий сигнал 4-20 мА, який надходить на електро-пнеumo перетворювач (4б), сигнал 4-20 мА перетворюється в пропорційний уніфікований пневматичний сигнал 20-100 КПа, який в свою чергу надходить на пневмоклапан (4в), що регулює подачу газу.

Контур вимірювання та регулювання рівня:

Регулювання рівня відбувається в загрузочній та розгрузочній камерах. Вимірюємо за допомогою радарних рівнемірів (7б, 8б). Сигнал із датчика на модуль аналогових входів МПК, сигнал опрацьовується в програмі, і якщо є розузгодження із заданим значенням, то на виході з МПК подається управляючий сигнал 4-20 мА, який надходить на електро-пнеumo перетворювач (7в), сигнал 4-20 мА перетворюється в пропорційний уніфікований пневматичний сигнал 20-100 КПа, який в свою чергу надходить на пневмоклапан Item 375 (7г), регулює подачу зерна у загрузочну камеру, та на частотний перетворювач (8в), що регулює заслонку подачі зерна із розгрузочної камери в охолоджуючу камеру.

Контур вимірювання вологості:

Вологість вимірюємо у сушильному барабані та розгрузочній камері за допомогою датчиків вологості (9б, 10б). Сигнал із датчиків надходить на модуль аналогових входів МПК, сигнал опрацьовується в програмі, та служить

додатковою інформацією для автоматизації технологічного процесу сушки зерна.

Двигуни нагнітачів повітря управляються через частотні перетворювачі (2в,3в,3г,8в,12а,13а,14а,15а,16а,17а).

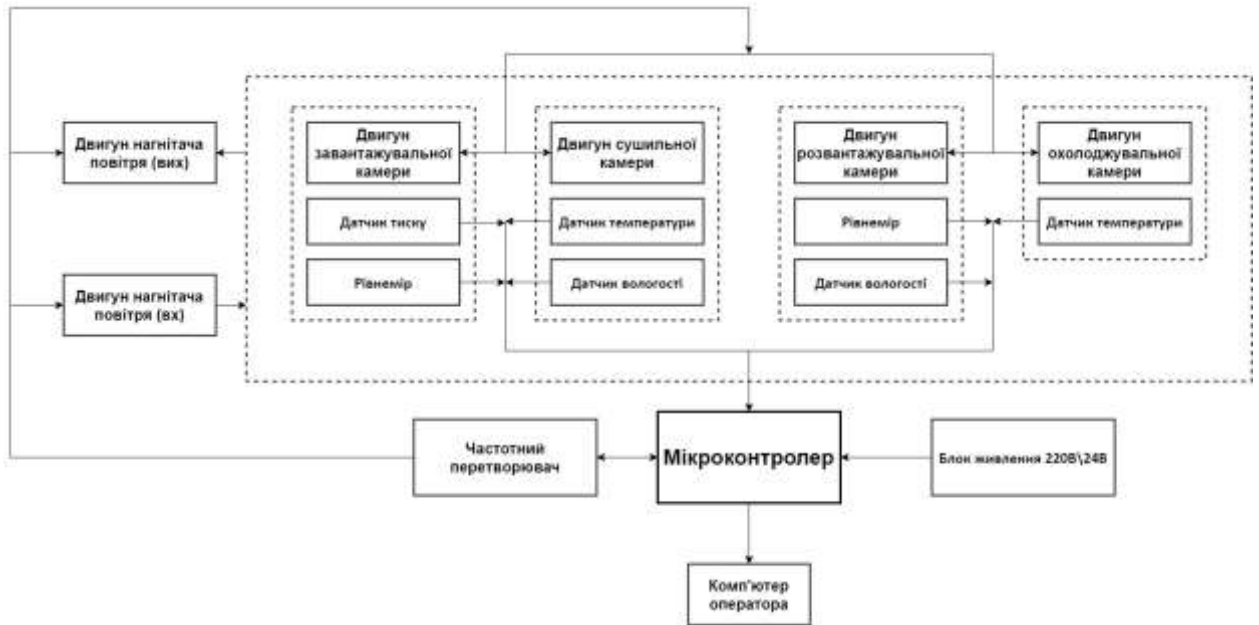


Рисунок 2.2.1 – Функціональна схема системи керування зерносушаркою

2.3 Вибір засобів для реалізації функціональних блоків системи

Температура:

У якості приладів, що вимірюють температуру в нашій роботі були обрані перетворювачі температури SITRANS TF2.



Рисунок 2.3.1 – Вимірювальний перетворювач температури SITRANS TF2

Вимірювальний перетворювач температури SITRANS TF2 об'єднує три компонента в одному приладі:

- термометр опору Pt100 в захисній трубці з нерж. сталі,
- корпус з нерж. сталі з високим класом захисту;
- вбудований, параметризуючий трьома клавішами вимірювальний перетворювач з екрана.

Використовується для індикації та контролю вимірної температури в місці установки. Існує осьова і радіальна версія SITRANS TF2. [10]

Особливості:

- міцний корпус з нерж. сталі з двома варіантами з'єднання;
- висока точність вимірювання;
- точна індикація з дозволом в $1/100$ ° C в макс. діапазоні вимірювання;
- параметризуемі діапазони вимірювання від -50 до $+200$ ° C;

- на замовлення також можливі інші довжини і матеріали захисної трубки;
- захисна трубка з нерж. стали з високою хімічною стійкістю;
- сигналізація +/- перевищення граничного значення на РК, а також за допомогою червоного світлоіндікуючого діода (СІД).

Галузь застосування:

SITRANS TF2 використовується для індикації і контролю вимірної температури в місці установки. Сферами застосування є всі технологічні області, наприклад:

- хімія;
- енергетика;
- тепло від системи централізованого теплопостачання;
- водопостачання;
- станції очистки стічних вод;
- харчова промисловість;
- металургійна і цементна промисловість;
- фармацевтика;
- біотехнологія.

Дизайн:

SITRANS TF2 має корпус з нерж. стали (\varnothing 80 мм) із захисним склом. Захисна трубка з нерж. стали з угвинчуватися цапфою G1 / 2В містить датчик температури Pt100. Завдяки використанню нерж. стали захисна трубка має високу хімічну стійкість, що означає високий захист датчика температури від зовнішніх впливів. Захисна трубка стандартно поставляється з довжинами 170 мм або 260 мм. На замовлення також можливі інші довжини і матеріали захисної трубки. Матеріал захисної трубки також може вибиратися замовником. На задній стороні корпусу знаходиться електричне з'єднання для харчування за допомогою струмової петлі 4 ... 20 мА. З'єднання здійснюється через штекер по EN 175301-803A. На передній стороні корпусу знаходиться 5-значний дисплей за скляною кришкою. Під дисплеєм знаходяться 3 кнопки для параметрування SITRANS TF2. Над дисплеєм знаходиться зелений і червоний

СІД для індикації робочого стану. SITRANS TF2 поставляється в двох варіантах (див. "Габаритні креслення"): У радіальному виконанні (тип А) дисплей розташований паралельно захисній трубці. Дисплей може повертатися макс. $\pm 120^\circ$ по відношенню до захисній трубці. В осьовому виконанні (тип В) дисплей розташовується під прямим кутом до захисній трубці. Дисплей може повертатися на 360° по відношенню до захисній трубці.

Принцип роботи:

Живлення зовнішнього датчика температури Pt100 здійснюється з джерела постійного струму Iк. Тим самим через датчик створюється відповідне температурі падіння напруги. Падіння напруги перетворюється на аналогово-цифровому перетворювачі (А / D) в цифровий сигнал. У мікроконтролері (μC) цифровий сигнал лінеаризується і оцінюється згідно із зафіксованими в EEPROM даними. Підготовлені значення індицируються на дисплеї. Крім цього значення через цифрово-аналоговий перетворювач (D / A) і перетворювач напруги / ток (U / I) перетворюються в лінійний по температурі сигнал струму IА (4 ... 20 мА).

Дисплей:

SITRANS TF2 має 5-ти значний дисплей за скляною кришкою. На дисплеї показується наступна інформація:

- виміряна температура;
- одиниця ($^\circ\text{C}$, $^\circ\text{F}$, $^\circ\text{R}$ або К або мА або%);
- +/- перевищення граничного значення, сигналізація через СІД і стрілочні символи на дисплеї.

Установка:

Установка SITRANS TF2 здійснюється через 3 клавіші управління за скляною кришкою під дисплеєм. За допомогою клавіші "М" відбувається вибір режиму роботи. Є такі режими роботи:

- виміряне значення;
- пароль;
- одиниця виміру;

- початок і кінець діапазону вимірювання;
- верхнє і нижнє граничне значення;
- зміщення;
- калібрування вихідного струму;
- верхня і нижня межі насичення струму;
- електричне демпфірування.

За допомогою двох інших клавіш встановлюються значення в окремих режимах роботи.

Контроль:

Для контролю встановленого діапазону вимірювання і стану над дисплеєм розташовується два СІД: Зелений СІД сигналізує, що виміряна температура лежить в межах встановлених граничних значень. Червоний СІД світиться, якщо виміряна температура лежить поза встановлених граничних значень і в разі помилки.

Тиск:

Для вимірювання тиску у системі автоматизації були обрані перетворювачі тиску РТ5401.



Рисунок 2.3.2 – Електронний датчик тиску PT5401

PT5401 - це електронний датчик тиску для загальнопромислового застосування. [11]

Технічні характеристики:

- Підключення до процесу різьбове з'єднання G 1/4 зовнішня різьба (DIN EN ISO 1179-2);
- Робоча напруга DC 8,5 ... 36 V;
- Тип напруги DC;
- Загальна кількість виходів 1;
- Функція вихідного сигналу аналоговий;
- Вихідний сигнал аналоговий сигнал;
- Аналоговий вихід по току 4 ... 20 mA;
- Діапазон вимірювання 0 ... 25 MPa;
- Межа міцності по тиску 625 bar;
- З'єднання M12 Роз'єм;
- Матеріал 1.4542 (17-4 PH / 630); нерж. сталь (1.4404 / 316L); PEI;

- Матеріали корпусу в контактi з iзм. середовищем 1.4542 (17-4 PH / 630);
- Температура навколишнього середовища -40 ... 90 ° C;
- Температура вимірюваного середовища -40 ... 90 ° C.

Рiвень:

Для вимірювання рiвня у системі автоматизації були обрані рiвнеміри Vegapuls SR 68.



Рисунок 2.3.3 – Рiвнемір VEGAPULS SR 68

Рiвнемір VEGAPULS SR 68 призначений для застосування на сипучих продуктах і рiзних рiдинах і його механiчна конструкція і електронiка оптимізовані для складних умов процесу. Прилад можна застосовувати в харчовій промисловості, переробці пластмас, а також в сталеливарній і будівельній галузях. [12]

Принцип дії:

Короткі мікрохвильові імпульси передаються через антенну систему і знову приймаються нею після відображення від поверхні продукту. Час від передачі до прийому сигналу пропорційно рівню продукту. Спеціальна процедура обробки сигналу забезпечує надійність і точність вимірювання.

Переваги:

- Безконтактне вимірювання;
- Простота монтажу;
- Немає зносу і не потрібно обслуговування;
- Незалежність від тиску, температури, газу і пари;
- Висока точність вимірювання;
- Діапазон вимірювання до 30 м.

Технічні характеристики:

- Застосування Безконтактний вимір сипучих продуктів і зріджених газів;
- Діапазон вимірювання до 30 м;
- Приєднання Різьба G1 1 / 2A, фланець;
- Температура процесу -40 ... +250 ° C;
- Тиск процесу -1 ... +100 бар, -100 ... +10000 кПа;
- Точність вимірювання +/- 2 мм.

Вологість:

Для вимірювання вологості у системі автоматизації були обрані вологоміри Stego CSS 014.



Рисунок 2.3.4 – Датчик вологості Stego CSS 014

Stego CSS 014 - промисловий датчик температури і вологості. Здійснює безперервний моніторинг відносної вологості і температури неагресивним газового середовища, перетворюючи виміряні значення в два незалежних уніфікованих сигналу струму 4 ... 20 мА. Передача обчислених значень здійснюється за допомогою інтерфейсу RS-485 по протоколу Modbus RTU. Основна область застосування Stego CSS 014 - системи вентилявання та кондиціонування. Сенсори можуть розміщуватися в каналах припливної вентиляції, воздуховодах і дымоходах, сушильних, коптильних і холодильних камерах, овоче- і зерносховищах, включаючи неопалювані приміщення з важкими температурними умовами. [13]

Особливості та функціональні можливості:

- Вимірюється температура: $-40 \dots + 80 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Розширений діапазон виміру температури (до $+120 \text{ }^\circ\text{C}$) за рахунок застосування високотемпературного кабелю.
- Висока точність вимірювань: абсолютна похибка вимірювання вологості

- до $\pm 2,5\%$, температури - до $\pm 0,5$ ° С.
- Висока повторюваність результатів вимірювань: $\pm 0,1\%$ RH, $\pm 0,1$ ° С.
- Висока стабільність: $\pm 0,25\%$ RH, $\pm 0,02$ ° С на рік.
- Два незалежних вихідних каналу 4 ... 20 мА.
- Можливість обміну інформацією по інтерфейсу RS-485 (протокол Modbus RTU), швидкість до 57600 біт / с.
- Розбірна конструкція, що дозволяє при необхідності здійснювати заміну сенсора і / або фільтра зонда.
- Ергономічний корпус із ступенем захисту IP65.

Частотний перетворювач:

ABB ACS310 – частотний перетворювач.



Рисунок 2.3.5 – Частотний перетворювач ABB ACS310

Доповненням до групових стандартних перетворювачів частот ABB є серія приводів, спеціально розроблених для пристроїв із змінним крутним моментом, таких як насоси та вентилятори. Перетворювач ACS310 забезпечує

максимально ефективно управління насосами і вентиляторами. Це досягається за рахунок наявності в перетворенні частотних функцій, як ПД-регулятори та макроси ПФУ (управління насосами і вентиляторами). За допомогою них можна керувати виробничими насосами в залежності від тиску, витрати та інших зовнішніх параметрів.

У технологічних процесах, в яких використовуються насоси, можна досягти економії електроенергії до 50%, порівнявши з прямим пуском двигуна і стандартними методами регулювання витрати або швидкості. Енергозбереження можна легко спостерігати за допомогою влаштованих лічильників, які демонструють енергію в кВт*год, а також зменшують викиди вуглекислого газу. Перетворені частоти серії ACS310 мають "на борту" вбудований протокол Modbus, що дозволяє спроектувати зовнішні комунікаційні протоколи та легко з'єднувати ЧП з ПЛК. [14]

Принцип дії:

Привід ACS310 може монтуватися на стіні або в шафі і призначений для управління асинхронними двигунами змінного струму. Випрямляч перетворює трифазне змінну напругу в напругу постійного струму. Батарея конденсаторів служить для стабілізації напруги проміжної ланки постійного струму. Інвертор перетворює напругу постійного струму назад в змінну напругу для живлення асинхронного двигуна.

Технічні характеристики:

- Температура навколишнього середовища: від -10 до 40 ° C без утворення інею;
- Клас захисту: IP20;
- Входи і виходи: Дискретні 5/1, Релейні 1 стандартний / 3 (опція), аналогові 2/1;
- Підтримувані протоколи зв'язку: Modbus (стандарт);
- Вбудований ЕМС фільтр;
- Допустима максимальна довжина кабелю двигуна від 30 до 60м;
- Частота комутації:: до 16 кГц;

- Діапазон частоти: 0-500 Гц;
- Час розгону / гальмування: 0 до 1800 сек;
- Вбудований гальмівний переривник в стандартному виконанні;
- Габаритні розміри: В-202 мм / Ш-70 мм / Г-161 мм / Вага -1,2 кг.

**Проектне комплектування мікропроцесорного контролера
SIMATIC S7-1200:**



Рисунок 2.3.6 – мікропроцесорний контролер SIMATIC S7-1200

SIMATIC S7-1200 - новий модульний контролер, який має сучасний дизайн, високу продуктивність, широкий набір можливостей і призначений для вирішення завдань автоматизації початкового рівня. Виробник позиціонує його як контролер з базовим набором функцій (Basic Controller), підкреслюючи, що це «мікро» (Micro PLC), хоча за формальними критеріями контролер виходить за рамки цієї ніші. Базова конфігурація передбачає процесорний блок з 14-24 входами / виходами і розширення не більше ніж вісьмома блоками вводу / виводу, що в сукупності дозволяє підключити до 284

дискретних входів / виходів або до 51 аналогового. Це повністю виправдовувало б приміщення контролера в розряд Micro PLC, якби не одне «але». Контролер може працювати з розподіленою периферією стандарту PROFIBUS DP і PROFINET IO в якості майстра і має адресний простір 1000 байт, що потенційно дозволяє йому прийняти до 8000 цифрових або до 500 аналогових каналів. У поєднанні з робочою пам'яттю 50-150 кбайт (в залежності від моделі CPU), де зберігається виконується програма (дані можна зберігати на зовнішньому носії до двох гігабайт), це вже ніяк не відповідає категорії «мікро».

Однак, якщо порівняти його з «старшим» контролером сімейства S7-1500, відразу стає зрозуміло, чому можливості сімейства Basic вважаються скромними. З точки зору набору підтримуваних функцій, обидва сімейства максимально уніфіковані: єдине середовище написання програм, уніфіковані мови програмування стандарту MEK 61131-3, уніфіковані бібліотеки і інтерфейси роботи з апаратною частиною, єдина інтегрована діагностична система, вбудований параметризуємий веб-сервер. Відмінності криються в кількісних характеристиках. Так, S7-1200 має максимум 16 логічних коннекції для організації мережових комунікацій засобами операційної системи через вбудований порт Ethernet. Таким чином, можна створити мережу з 16 контролерів SIMATIC, операторських панелей, персональних комп'ютерів, і обмін інформацією буде відбуватися асинхронно, незалежно від виконання алгоритмів управління обладнанням, закладених користувачем. Хоча, з іншого боку, у контролера є підтримка протоколу MODBUS TCP, де немає таких обмежень. Досить своєрідно реалізована підтримка комунікаційних процесорів для зв'язку з різним обладнанням. Спеціальна шина дозволяє підключити до трьох комунікаційних плат для реалізації комунікацій через мережу PROFIBUS (режим Master і Slave), інтерфейс AS-і і з'єднання «точка-точка» по фізичним стандартам RS232 і RS485 (з підтримкою MODBUS RTU і USS-протоколів).

Комунікаційні плати дозволяють використовувати контролер S7-1200 в

системах телекерування, що підтримують обмін даними по протоколах IEC 60870-5-104 або DNP3. Ці плати оснащені буферною пам'яттю для збереження до: 64 000 вимірних величин з відмітками дати і часу при порушеннях нормальної роботи системи зв'язку. Через цю шину можливо підключати також модуль для роботи з системою ідентифікації на базі безконтактних RFID-міток і GSM + 3G-модем для роботи в мережах стільникового зв'язку. Таке рішення дозволяє уникнути скорочення числа позицій для установки модулів введення / виведення, які підключаються на свою власну шину даних, оптимізовану для передачі керуючих сигналів. Ще одне цікаве рішення - використання технології SIGNAL BOARD. Контролер має на фронтальній панелі спеціальну шахту з роз'ємом, куди можна підключити компактний модуль, який розширює можливості процесорного блоку без збільшення габаритів.

Модулі пропонують до чотирьох цифрових або один аналоговий вхід або вихід, або інтерфейс RS485. Здавалося б, навіщо такі хитрощі, коли контролер можна стандартно розширити за допомогою додаткових блоків входу / виходу або комунікаційним процесором. Але такі блоки мають мінімум вісім каналів (а в мікросистемах часто буває ситуація, коли не вистачає одного-двох) і помітний (на тлі процесорного блоку) розмір, що не завжди допустимо. Такий підхід, хоча і збільшує номенклатуру виробів, дозволяє дуже точно «підігнати» конфігурацію обладнання під технічне завдання. Контролер S7-1200 виконаний в класі захисту IP20 і передбачає монтаж в шафі чи іншому захисному корпусі. Можливе кріплення як на 35-мм рейку, так і на плоску монтажну панель. Гвинтові клеми «відстібаються» разом з кабелями, що дозволяє, в разі виходу з ладу, оперативно провести заміну, чи не відкручуючи дві дюжини проводів. Завантаження програми можлива як з комп'ютера, так і через знімну карту пам'яті, що знову-таки дозволяє максимально спростити і прискорити заміну відмовив обладнання. Крім основної модифікації, пропонується так звана Fail-Safety версія, призначена для побудови систем протиаварійного захисту і забезпечення безпеки (рис. 2). Вона реалізована в

рамках єдиної концепції Totally Integrated Automation, що дозволяє здійснювати її ефективну взаємодію зі стандартними системами автоматизації SIMATIC, використовувати F-системи в якості підсистем стандартних систем автоматизації, покладати на F-системи виконання як стандартних функцій управління, так і F-функцій. Крім того, в F-системах забезпечується підтримка стандартної концепції діагностики систем автоматизації SIMATIC S7.

Контролери S7-1200F повністю, програмно і апаратно, сумісні зі своїми аналогами (S7-1200), програмуються точно так само і з використанням ідентичного інструментарію, доповненого бібліотекою F блоків, сертифікованих T? V. Для роботи поза приміщеннями, в умовах підвищеної загазованості або наявності агресивних парів і газів, існує модифікація SIPLUS. Вона повністю програмно і апаратно сумісна з лінійкою S7-1200. Фактично це той же самий контролер, але з посиленням захистом від зовнішніх впливів (герметизація плат спеціальним компаундом) і розширеним температурним діапазоном (-25 ... + 60 ° C).

Важливим фактором, крім самого устаткування, є функціональність і зручність програмного середовища розробки. Зазвичай пропонується використовувати окремі пакети для програмування контролерів, засобів операторського інтерфейсу і мережевого обміну даними. Етап об'єднання всіх компонентів системи для спільної роботи є досить трудомістким. При подальшій налагодженні системи внесення змін в проект одного пристрою може спричинити за собою необхідність зміни програми всіх інших, що працюють спільно. На такі зміни зазвичай йде досить багато часу, а в процесі змін легко допустити помилки. Комплексний підхід до параметрування і програмування систем автоматизації на основі серії контролерів SIMATIC S7-1200 дозволяє зробити розробку проекту ефективною, спростити подальшу налагодження і діагностику несправностей.

Підготовка проекту проводиться в єдиній програмному середовищі TIA Portal. У ній, як в єдиній програмній платформі, вдалося об'єднати все, що необхідно для роботи з усіма компонентами автоматизації «Сіменс» на всіх

етапах роботи з проектом. Розробка проектів для контролерів і пристроїв розподіленого вводу / виводу, конфігурація HMI і SCADA-систем, параметрування мережевих компонентів і модулів зв'язку, налагодження програмних алгоритмів управління, а також введення в експлуатацію приводів - все це об'єднано в загальну структуру програмного забезпечення та має уніфікований інтерфейс. Це не тільки прискорює роботу, але і дозволяє створювати прозорі рішення, які прості в обслуговуванні і діагностиці і можуть бути легко розширені або трансформовані. Наріжним каменем продукту TIA Portal поставлена простота використання продукту (Usability). Принципово новий призначений для користувача інтерфейс покликаний полегшити користувачеві роботу з платформою, а його уніфікація і стандартизація спрощують взаємодію з різноманітним обладнанням. Це нове слово в розробці програмного забезпечення. Основний упор зроблений на наочність, інтуїтивну зрозумілість і відсутність багаторазово вкладених структур. Передбачено два варіанти інтерфейсу. Портальний орієнтований на обслуговуючий персонал і пропонує генералізований вибір завдань і інструментів, необхідний для успішного введення в експлуатацію, діагностику та обслуговування обладнання. Проектний відкриває доступ до повного набору інструментів і функцій, необхідних на етапі розробки конфігурації і написання програм. Єдина інформаційна база проекту дозволяє бесшовно інтегрувати програми для контролера, графічні об'єкти HMI і масиви налаштувань для приводів, а також уникнути необхідності імпорту-експорту змінних, спростити їх адміністрування.

Завдяки тому що проект представляє єдине ціле, незважаючи на значну різноманітність назв компонентів, стало можливим реалізувати єдину діагностичну систему, яка дозволяє здійснювати оперативний моніторинг стану обладнання і оперативно відображати відомості на пристроях HMI. Додатковою перевагою є те, що цей моніторинг організований засобами операційної системи контролера і не вимагає від користувача додаткових трудовитрат. Досить налаштувати видачу повідомлень на панель управління,

а їх підготовка і відправка буде відбуватися автоматично. У програмному пакеті існують як стандартні інструкції для створення алгоритмів управління, так і спеціальні блоки управління переміщенням на основі стандарту PLC Open і ПІД-регулювання. Ці блоки забезпечені зручними механізмами покрокового конфігурації і графічними екранами для діагностики і настройки. У стандартний набір призначених для користувача бібліотек вже включені комунікаційні блоки для організації обміну даними по протоколах MODBUS і USS. Також існує можливість створення власних бібліотек для спрощення багаторазового використання подібних по функціональності частин проекту і обміну ними між різними розробниками. Якщо раніше в бібліотеку можна було помістити тільки закінчені фрагменти програмного коду, то тепер поняття бібліотечного елемента набагато ширше: можна зберігати для подальшого використання програми, апаратні конфігурації (як окремі модулі, так і цілі станції) з усіма параметрами, графічні об'єкти. Можливо використовувати бібліотечні елементи в якості типів, коли елемент не просто вставляється в проект в якості копії, а зберігає зв'язок з вихідним об'єктом і дозволяє організувати автоматичну синхронізацію змін в копіях при редагуванні вихідного компонента.

Спеціально для роботи з Basic-контролерами існує Lite-версія TIA Portal, спеціально призначена для роботи з контролерами S7-1200. Але «Lite» - не означає урізана. Всі функції TIA Portal Basic реалізовані в повному обсязі. Єдина особливість: в каталозі обладнання присутні тільки контролери сімейства S7- 1200. Зрозуміло, програмний пакет в будь-який момент можна «наростити», придбавши відповідну ліцензію. Це означає повну уніфікацію програмних алгоритмів, системних сервісів і прийомів роботи, ідентичних для всіх контролерів сімейства S7-1200 / 1500. З цієї точки зору SIMATIC S7-1200 має менші «кількісні» показники, але абсолютно не програє за багатством наданих функцій. Зрозуміло, на цьому контролері можна вирішувати і «великі» завдання. Але продуктивність сучасних контролерів визначається не обсягами пам'яті і кількістю підтримуваних введів / висновків, а кількістю

додаткових функцій і допоміжних сервісів, які прискорюють створення систем управління, спрощують обслуговування, скорочують час простою обладнання. Починаючи з певного моменту стає вигідніше застосовувати більш дорогий, але володіє великою кількістю ресурсів S7-1500, а S7-1200 залишити для вирішення завдань «мікроавтоматизації». [15]

Конфігурування МПК Siemens S7-1200:

Для управління об'єктом необхідно сконфігурувати МПК який забезпечує підключення:

Таблиця 2.3.1 Конфігурування МПК

Вимоги	Кількість або наявність
Живлення ПЛК (24 VDC або 24 VAC)	24
Кількість аналогових входів 4-20 mA	11
Кількість аналогових виходів 4-20 mA	12

Вибір процесорного модуля:

Враховуючи кількість каналів вводів/виводів, кількість пам'яті під програму користувача і наявність комунікацій обираємо процесорний модуль 6ES7215-1AG40-0XB0.

Таблиця 2.3.2 Вибір аксесуарів для модулів вводу/виводу.

Модулі вводу/виводу		Примітка
Найменування	Кількість	
6ES7215-1AG40-0XB0	1	ПЛК Siemens CPU 1215C
6ES7231-4HF32-0XB0	2	Модуль аналогових входів (8 входів)
6ES7232-4HD32-0XB0	3	Модуль аналогових виходів (4 виходи)

Аналогові входи: В системі використовуються модулі аналогових входів 6ES7231-4HF32- 0XB0.

Загальна інформація:

- Позначення типу продукту SM 1231, AI 8 x 13 розряд;
- Напруга живлення : Номінальне значення (пост. Струм) 24 V;
- Вхідний струм : Споживання струму, тип. 45 mA, з шини на задній стійці 5 В пост. струму, тип. 90 mA;
- Потужність, що розсіюється : Нормальна розсіює потужність 1,5 W;
- Аналогові вводи :Число аналогових входів 8; Диференціальні входи струму або напруги;
- Макс. допустимий вхідна напруга для входу: напруги (межа руйнування) 35 V;
- Макс. допустимий вхідний струм для токового входу (Межа руйнування) 40 mA;
- Макс. час циклу (всі канали) 625 μ s : вхідні діапазони Напруга Так; ± 10 V, ± 5 V, $\pm 2,5$ V.

Аналогові виходи:

В системі використовуються модулі аналогових виходів 6ES7232-4HD32- 0XB0.

Загальна інформація:

- Напруга живлення: Номінальне значення (пост. Струм) 24 В пост. струму;
- Вхідний струм: Споживання струму, тип. 45 mA, з шини на задній стійці 5 В пост. струму, тип. 80 mA;
- Потужність, що розсіюється: Нормальна розсіює потужність 1,5 W
- Аналогові виходи: Число аналогових виходів 4;
- Струм або напруга: Діапазони вихідних параметрів, напруга від -10 до +10V;
- Діапазони вихідних параметрів:струм від 0 до 20 mA ;

- Опір навантаження: (в номінальному діапазоні виходу) при вихідних напругах хв. 1 000, при вихідних струмах, макс. 600;
- Придушення напруги перешкод для частоти перешкод f_1 в Гц 40 дБ, пост. ток до 60 В для частоти перешкод 50/60 Гц;
- Похибки / точність: Похибка температури (щодо діапазону вихідних параметрів) (+/-) Весь діапазон вимірювань від $25 \pm 0,3\%$, до $55 \pm 0,6\%$.

2.4 Загальна схема підключення

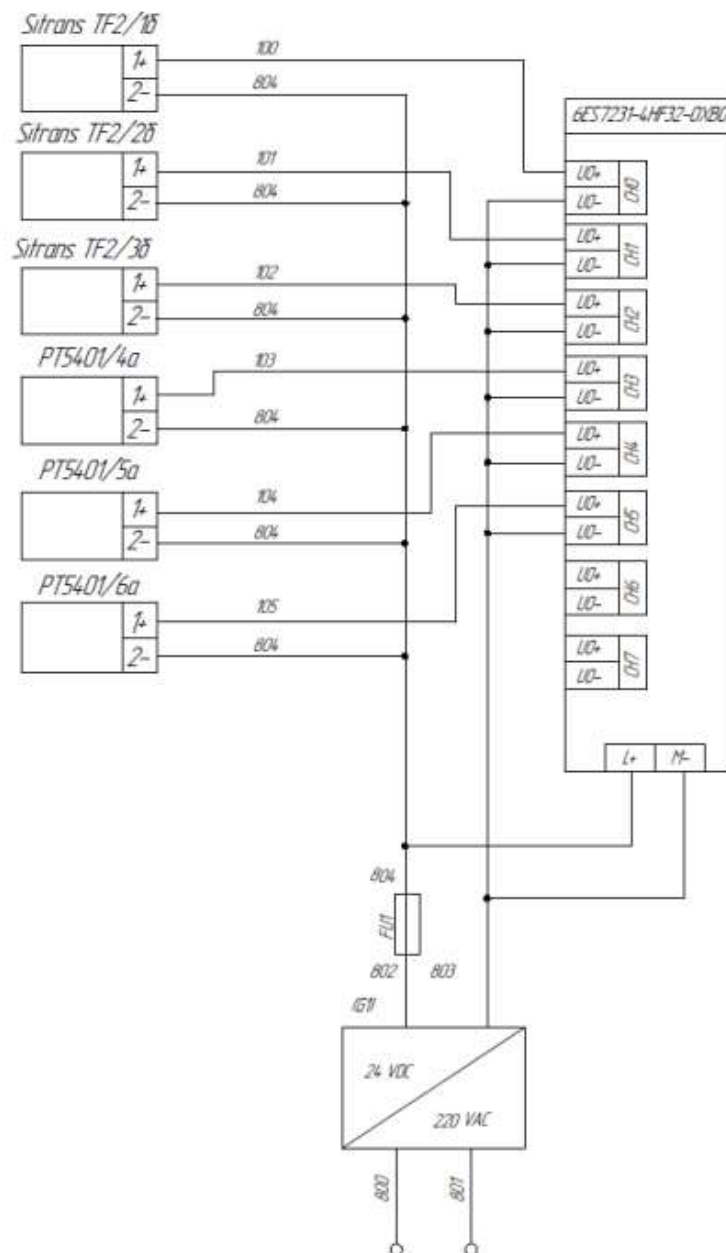


Рисунок 2.4.1 – Підключення датчиків до першого модуля аналогових входів

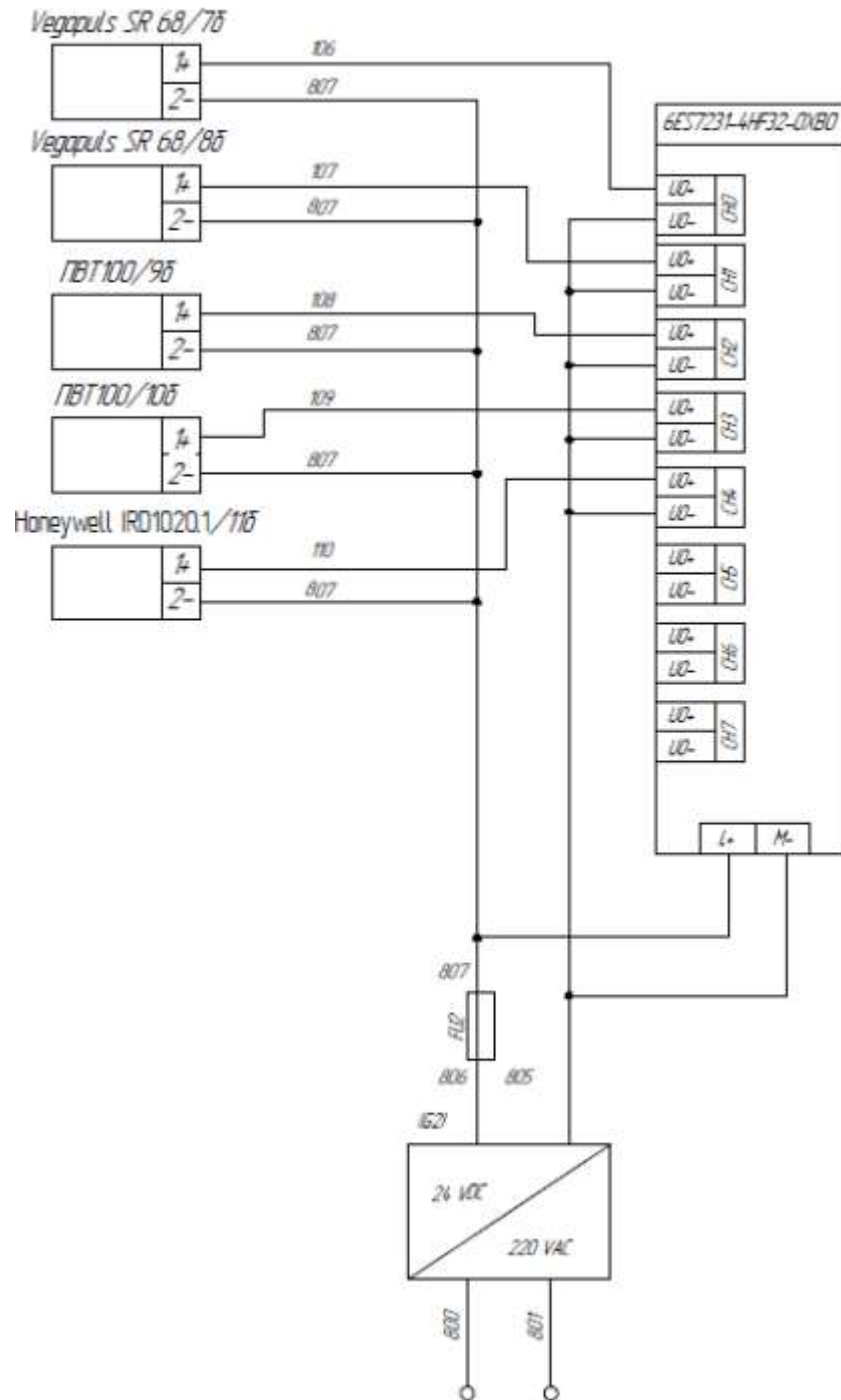


Рисунок 2.4.2 – Підключення датчиків до другого модуля аналогових входів

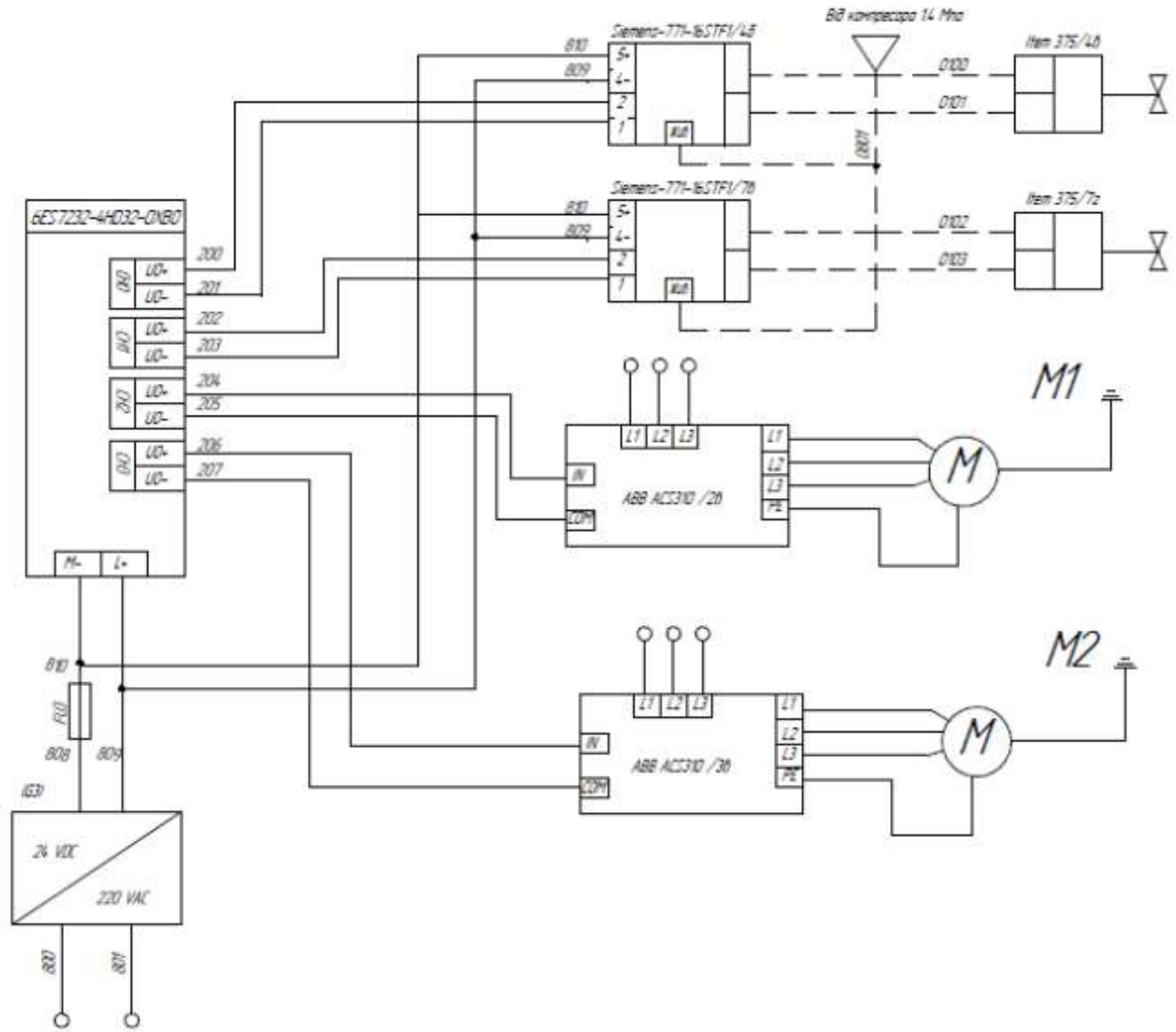


Рисунок 2.4.3 – Підключення датчиків до першого модуля аналогових виходів

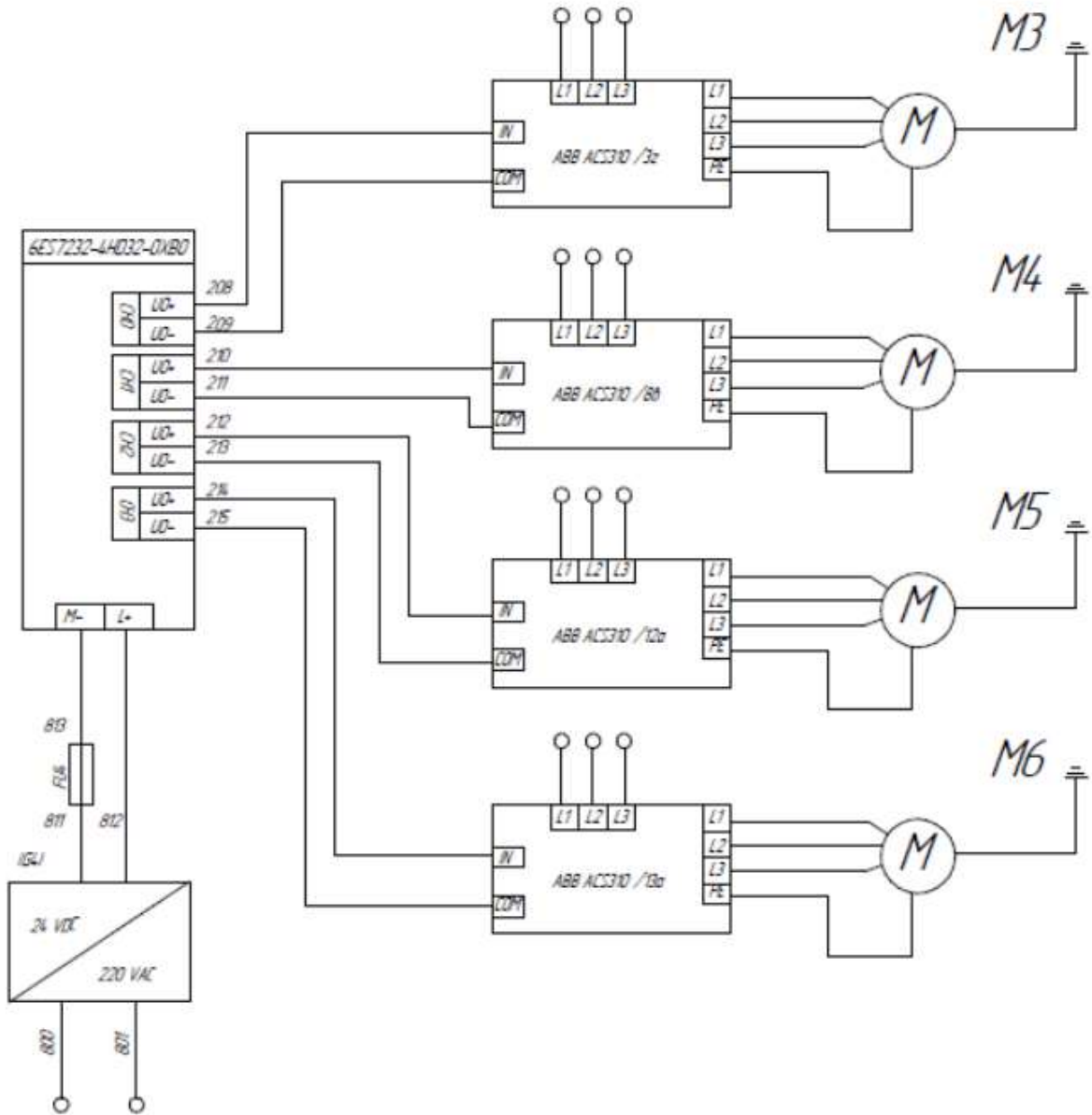


Рисунок 2.4.4 – Підключення датчиків до другого модуля аналогових виходів

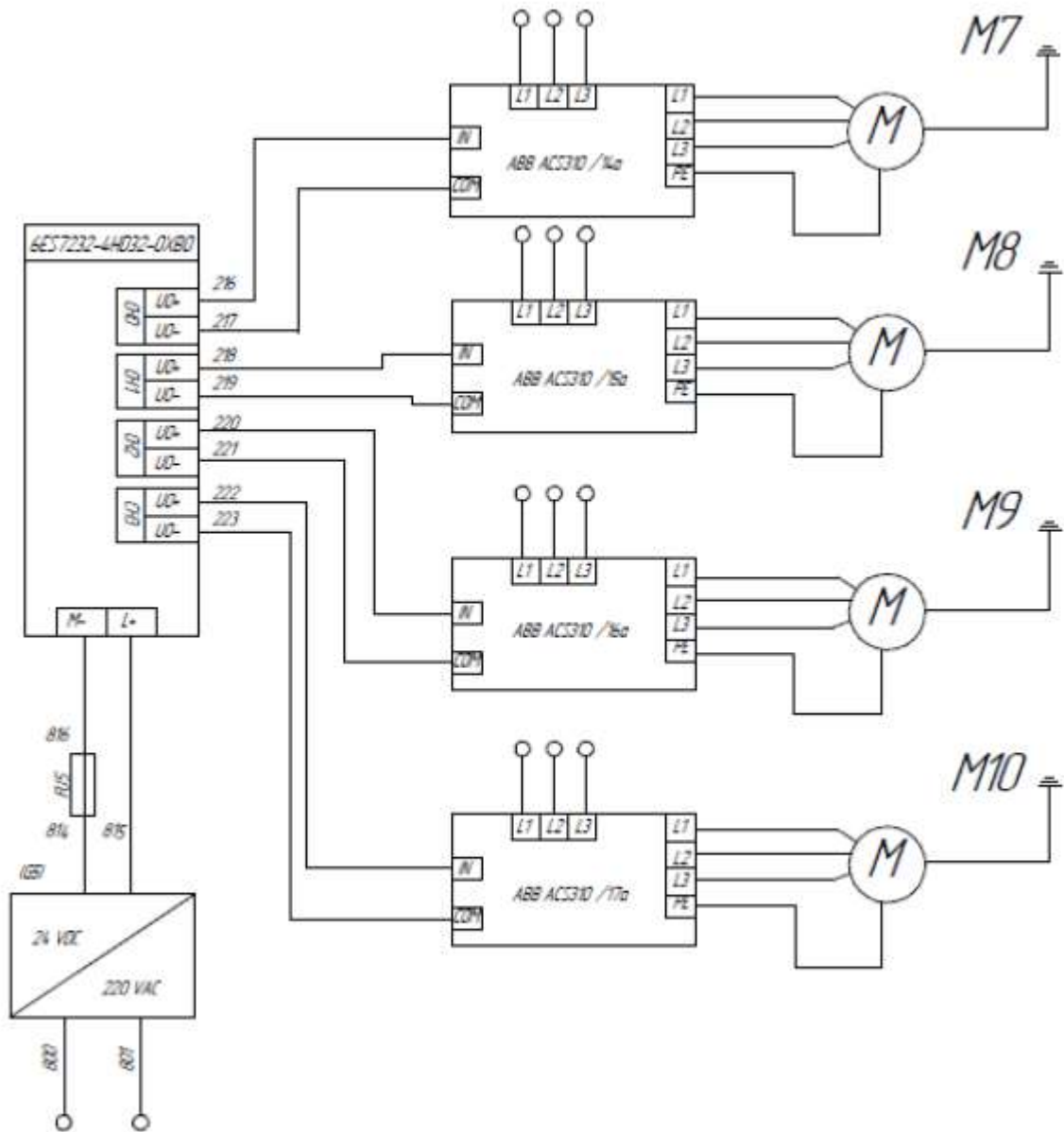


Рисунок 2.4.5 – Підключення датчиків до третього модуля аналогових виходів

Вторинний перетворювач температури ТТ (16) під'єднаний до першого модуля аналогових входів 6ES7231-4HF32-0XB0 на U0+ та U0- клеми СНО каналу. Після отримання інформації аналоговим входом модуля 6ES7231-4HF32- 0XB0 від датчика температури, інформація передається в контролер 6ES7215- 1AG40-0XB0 , де в залежності від отриманої інформації та написаної програми , опрацьовується, реєструється і служить , як додаткова інформація для роботи системи автоматизації процесу в установці для сушки зерна.

Вторинний перетворювач температури ТТ (26) під'єднаний до першого

модуля аналогових входів 6ES7231-4HF32-0XB0 на U0+ та U0- клеми CH1 каналу. Після отримання інформації аналоговим входом модуля 6ES7231-4HF32-0XB0 від датчика температури, інформація передається в контролер 6ES7215-1AG40-0XB0, де в залежності від отриманої інформації та написаної програми, опрацьовується, реєструється і формується керуючий вихідний сигнал та передається на перший модуль аналогових виходів 6ES7232-4HD32-0XB0. Де до нього на U0+ та U0- клеми CH2 каналу під'єднаний частотний перетворювач (2в), який керує нагнітачем гарячого повітря М1.

Вторинний перетворювач температури ТТ (3б) під'єднаний до першого модуля аналогових входів 6ES7231-4HF32-0XB0 на U0+ та U0- клеми CH2 каналу. Після отримання інформації аналоговим входом модуля 6ES7231-4HF32-0XB0 від датчика температури, інформація передається в контролер 6ES7215-1AG40-0XB0, де в залежності від отриманої інформації та написаної програми, опрацьовується, реєструється і формується керуючий вихідний сигнал та передається на перший модуль аналогових виходів 6ES7232-4HD32-0XB0. Де до нього на U0+ та U0- клеми CH3 каналу та на другий модуль аналогових виходів 6ES7232-4HD32-0XB0 де до нього на U0+ та U0- клеми CH0 каналу під'єднані частотні перетворювачі (3в,3г), які керують нагнітачами холодного повітря М2 і М3.

Вторинний перетворювач тиску РТ (4а) під'єднаний до першого модуля аналогових входів 6ES7231-4HF32-0XB0 на U0+ та U0- клеми CH3 каналу. Після отримання інформації аналоговим входом модуля 6ES7231-4HF32-0XB0 від датчика тиску, інформація передається в контролер 6ES7215-1AG40-0XB0, де в залежності від отриманої інформації та написаної програми, опрацьовується, реєструється і формується керуючий вихідний сигнал та передається на перший модуль аналогових виходів 6ES7232-4HD32-0XB0. Де до нього на U0+ та U0- клеми CH0 каналу під'єднаний електропневматичний перетворювач (4б), який керує пневматичним клапаном (4в), що керує подачею газу у топку.

Вторинний перетворювач тиску РТ (5а) під'єднаний до першого модуля

аналогових входів 6ES7231-4HF32-0XB0 на U0+ та U0- клеми CH4 каналу. Після отримання інформації аналоговим входом модуля 6ES7231-4HF32-0XB0 від датчика температури, інформація передається в контролер 6ES7215-1AG40-0XB0, де в залежності від отриманої інформації та написаної програми, опрацьовується, реєструється і служить, як додаткова інформація для роботи системи автоматизації процесу в установці для сушки зерна.

Вторинний перетворювач тиску PT (6а) під'єднаний до першого модуля аналогових входів 6ES7231-4HF32-0XB0 на U0+ та U0- клеми CH5 каналу. Після отримання інформації аналоговим входом модуля 6ES7231-4HF32-0XB0 від датчика температури, інформація передається в контролер 6ES7215-1AG40-0XB0, де в залежності від отриманої інформації та написаної програми, опрацьовується, реєструється і служить, як додаткова інформація для роботи системи автоматизації процесу в установці для сушки зерна.

Датчик рівня LT (7б) під'єднаний до другого модуля аналогових входів 6ES7231-4HF32-0XB0 на U0+ та U0- клеми CH0 каналу. Після отримання інформації аналоговим входом модуля 6ES7231-4HF32-0XB0 від датчика рівня, інформація передається в контролер 6ES7215-1AG40-0XB0, де в залежності від отриманої інформації та написаної програми, опрацьовується, реєструється і формується керуючий вихідний сигнал та передається на перший модуль аналогових виходів 6ES7232-4HD32-0XB0. Де до нього на U0+ та U0- клеми CH1 каналу під'єднаний електропневматичний перетворювач (7в), який керує пневматичним клапаном (7г), що керує подачею зерна у загрузочну камеру.

Датчик рівня LT (8б) під'єднаний до другого модуля аналогових входів 6ES7231-4HF32-0XB0 на U0+ та U0- клеми CH1 каналу. Після отримання інформації аналоговим входом модуля 6ES7231-4HF32-0XB0 від датчика рівня, інформація передається в контролер 6ES7215-1AG40-0XB0, де в залежності від отриманої інформації та написаної програми, опрацьовується, реєструється і формується керуючий вихідний сигнал та передається на другий модуль аналогових виходів 6ES7232-4HD32-0XB0. Де до нього на U0+

та U0- клеми CH1 каналу під'єднаний частотний перетворювач (8в), який керує двигуном розгрузочної камери М4.

Датчик вологості МТ (9б) під'єднаний до другого модуля аналогових входів 6ES7231-4HF32-0XB0 на U0+ та U0- клеми CH2 каналу. Після отримання інформації аналоговим входом модуля 6ES7231-4HF32-0XB0 від датчика вологості, інформація передається в контролер 6ES7215-1AG40-0XB0, де в залежності від отриманої інформації та написаної програми, опрацьовується, реєструється і служить, як додаткова інформація для роботи системи автоматизації процесу в установці для сушки зерна.

Датчик вологості МТ (10б) під'єднаний до другого модуля аналогових входів 6ES7231-4HF32-0XB0 на U0+ та U0- клеми CH3 каналу. Після отримання інформації аналоговим входом модуля 6ES7231-4HF32-0XB0 від датчика вологості, інформація передається в контролер 6ES7215-1AG40-0XB0, де в залежності від отриманої інформації та написаної програми, опрацьовується, реєструється і служить, як додаткова інформація для роботи системи автоматизації процесу в установці для сушки зерна.

Датчик полум'я МТ (11б) під'єднаний до другого модуля аналогових входів 6ES7231-4HF32-0XB0 на U0+ та U0- клеми CH4 каналу. Після отримання інформації аналоговим входом модуля 6ES7231-4HF32-0XB0 від датчика полум'я, інформація передається в контролер 6ES7215-1AG40-0XB0, де в залежності від отриманої інформації та написаної програми, опрацьовується, реєструється і служить, як додаткова інформація для роботи системи автоматизації процесу в установці для сушки зерна.

Частотний перетворювач (12а) підключений до другого модуля аналогових виходів 6ES7232-4HD32-0XB0 на U0+ та U0- клеми CH2 каналу, звідки надходить керуючий вихідний сигнал та керує нагнітачем повітря М5.

Частотний перетворювач (13а) підключений до другого модуля аналогових виходів 6ES7232-4HD32-0XB0 на U0+ та U0- клеми CH3 каналу, звідки надходить керуючий вихідний сигнал та керує двигуном загрузочної камери М6.

Частотний перетворювач (14а) підключений до третього модуля аналогових виходів 6ES7232-4HD32-0XB0 на U0+ та U0- клеми CH0 каналу, звідки надходить керуючий вихідний сигнал та керує двигуном сушильної камери M7.

Частотний перетворювач (15а) підключений до третього модуля аналогових виходів 6ES7232-4HD32-0XB0 на U0+ та U0- клеми CH1 каналу, звідки надходить керуючий вихідний сигнал та керує двигуном нагнітача повітря M8.

Частотний перетворювач (16а) підключений до третього модуля аналогових виходів 6ES7232-4HD32-0XB0 на U0+ та U0- клеми CH2 каналу, звідки надходить керуючий вихідний сигнал та керує двигуном охолоджуючої камери M9.

Частотний перетворювач (17а) підключений до третього модуля аналогових виходів 6ES7232-4HD32-0XB0 на U0+ та U0- клеми CH3 каналу, звідки надходить керуючий вихідний сигнал та керує двигуном нагнітача повітря M10.

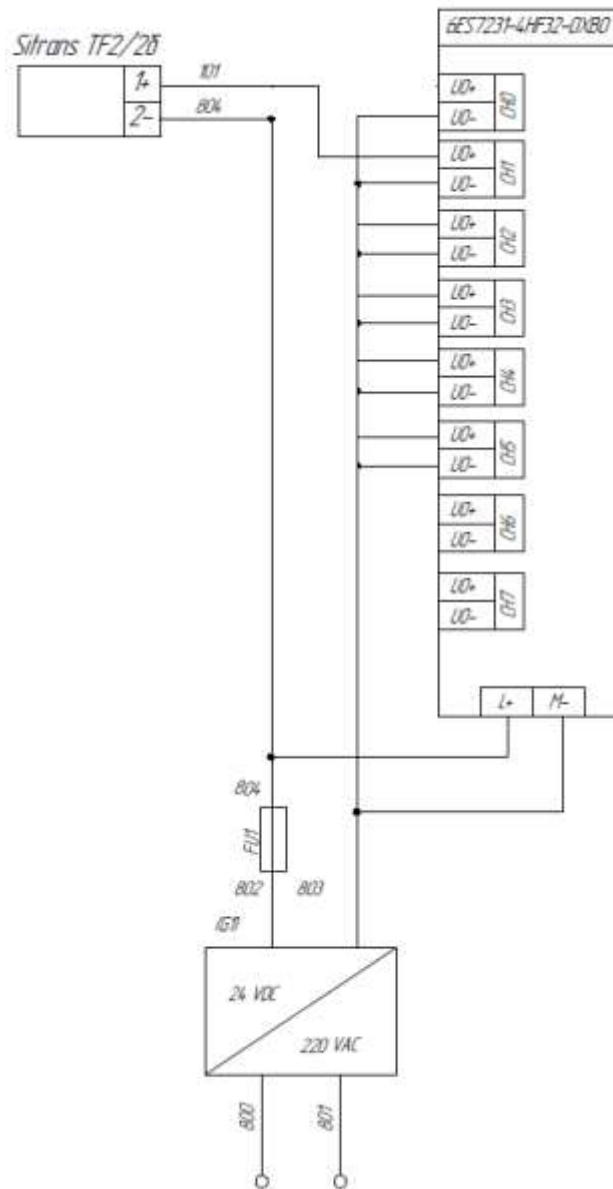


Рисунок 2.4.6 – Підключення датчику температури до модуля аналогових входів

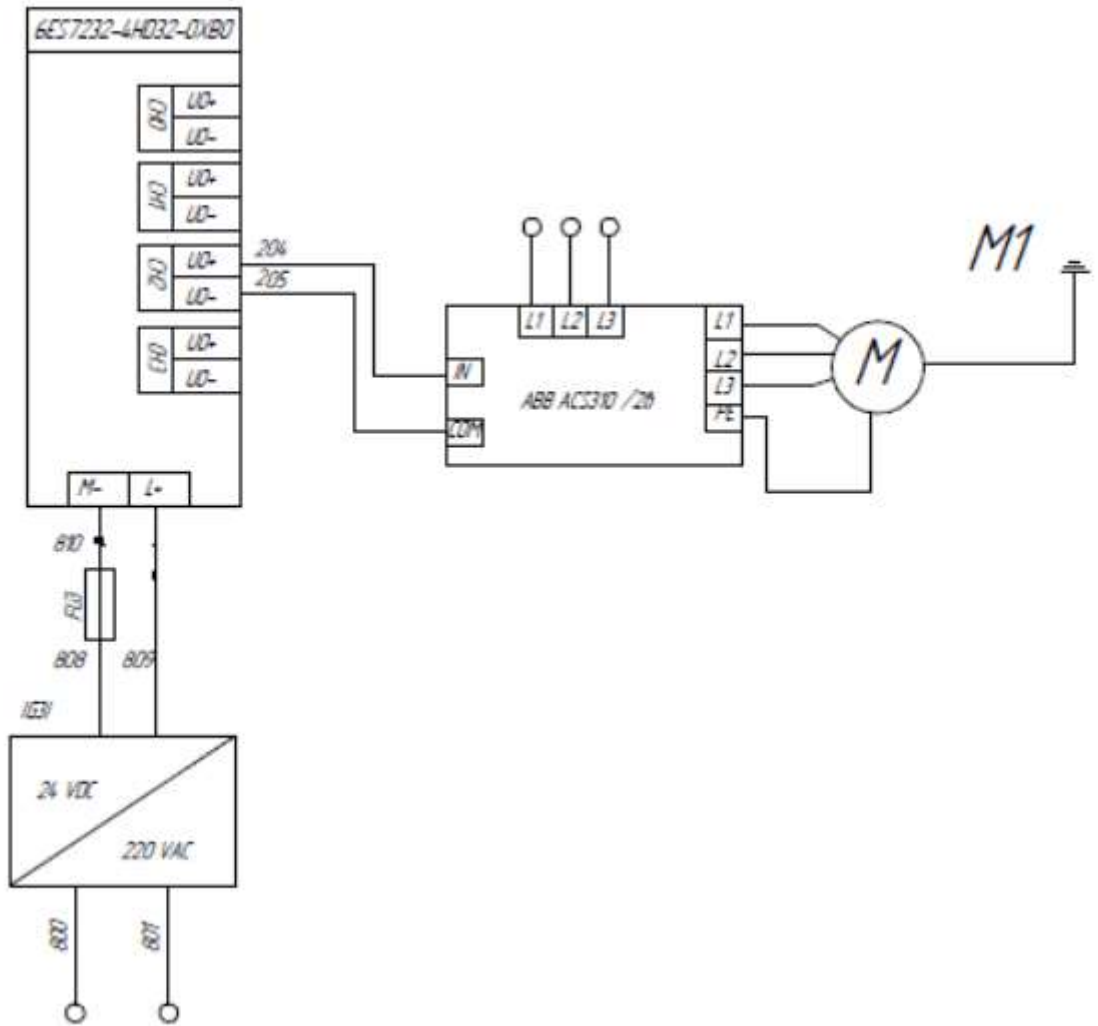


Рисунок 2.4.7 – Підключення частотного перетворювача до модуля аналогових виходів

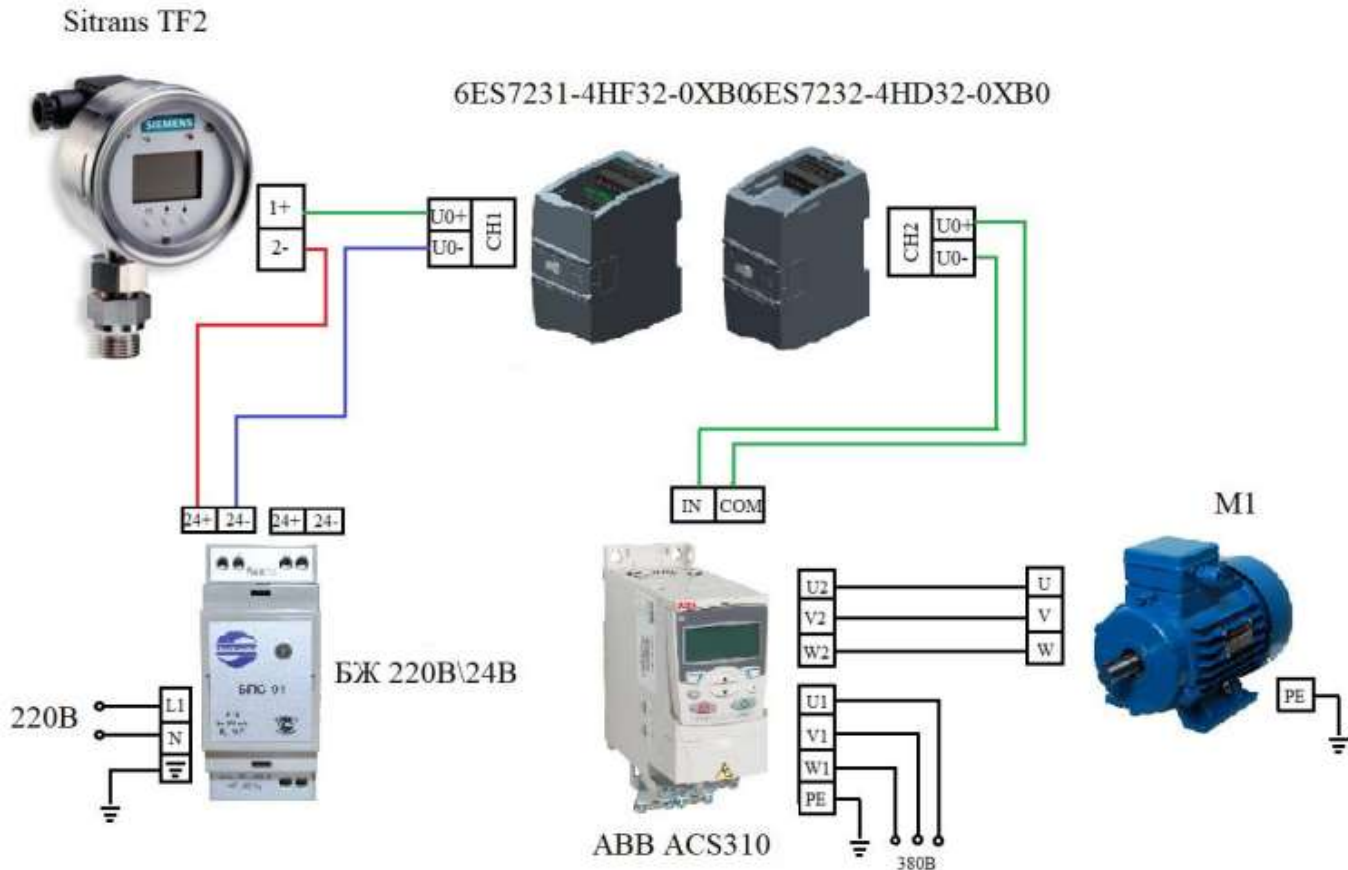


Рисунок 2.4.8 – Графічне зображення підключення технічних засобів контуру контролю та регулювання температури

Опис схеми з'єднання:

Вторинний перетворювач температури ТТ (26) під'єднаний до першого модуля аналогових входів 6ES7231-4HF32-0XB0 на U0+ та U0- клеми CH1 каналу. Після отримання інформації аналоговим входом модуля 6ES7231-4HF32-0XB0 від датчика температури, інформація передається в контролер 6ES7215-1AG40-0XB0, де в залежності від отриманої інформації та написаної програми, опрацьовується, реєструється і формується керуючий вихідний сигнал та передається на перший модуль аналогових виходів 6ES7232-4HD32-0XB0. Де до нього на U0+ та U0- клеми CH2 каналу під'єднаний частотний перетворювач (2в), який керує нагнітачем гарячого повітря М1. Розширений контур контролю тиску:

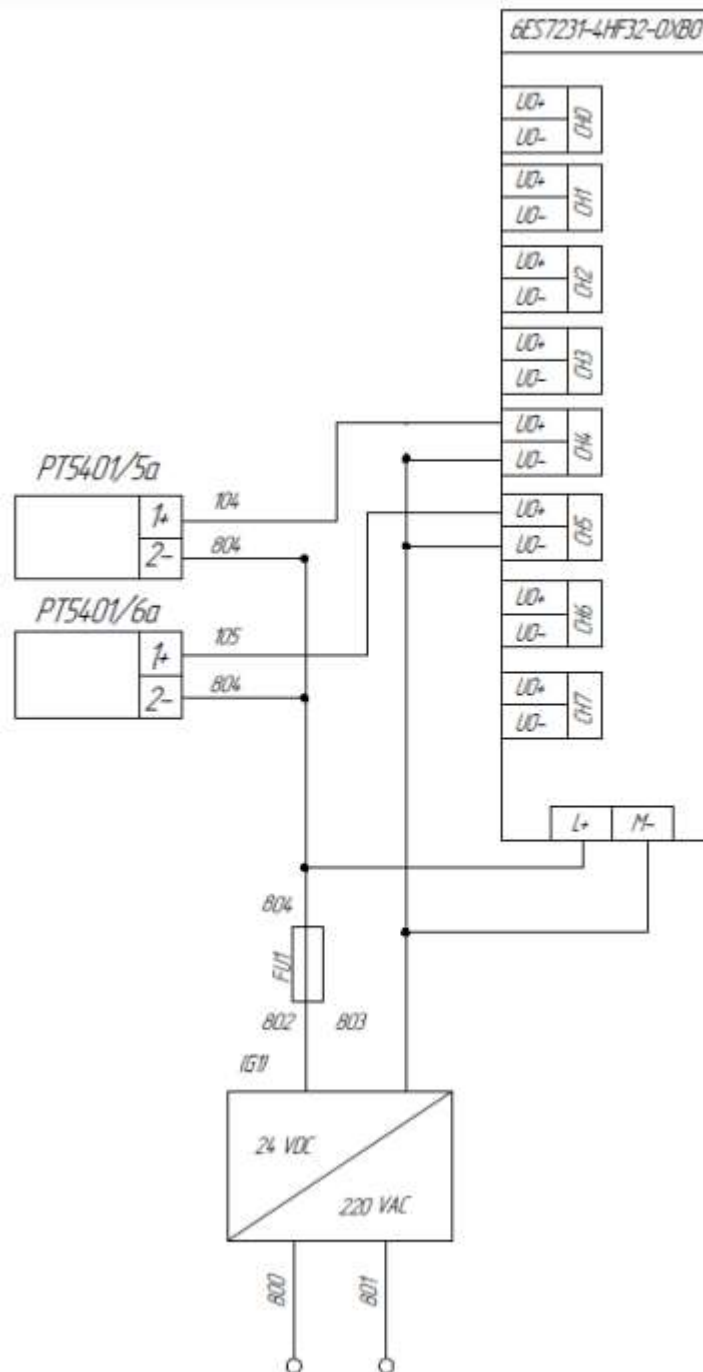


Рисунок 2.4.9 – Підключення датчиків тиску до модуля аналогових входів

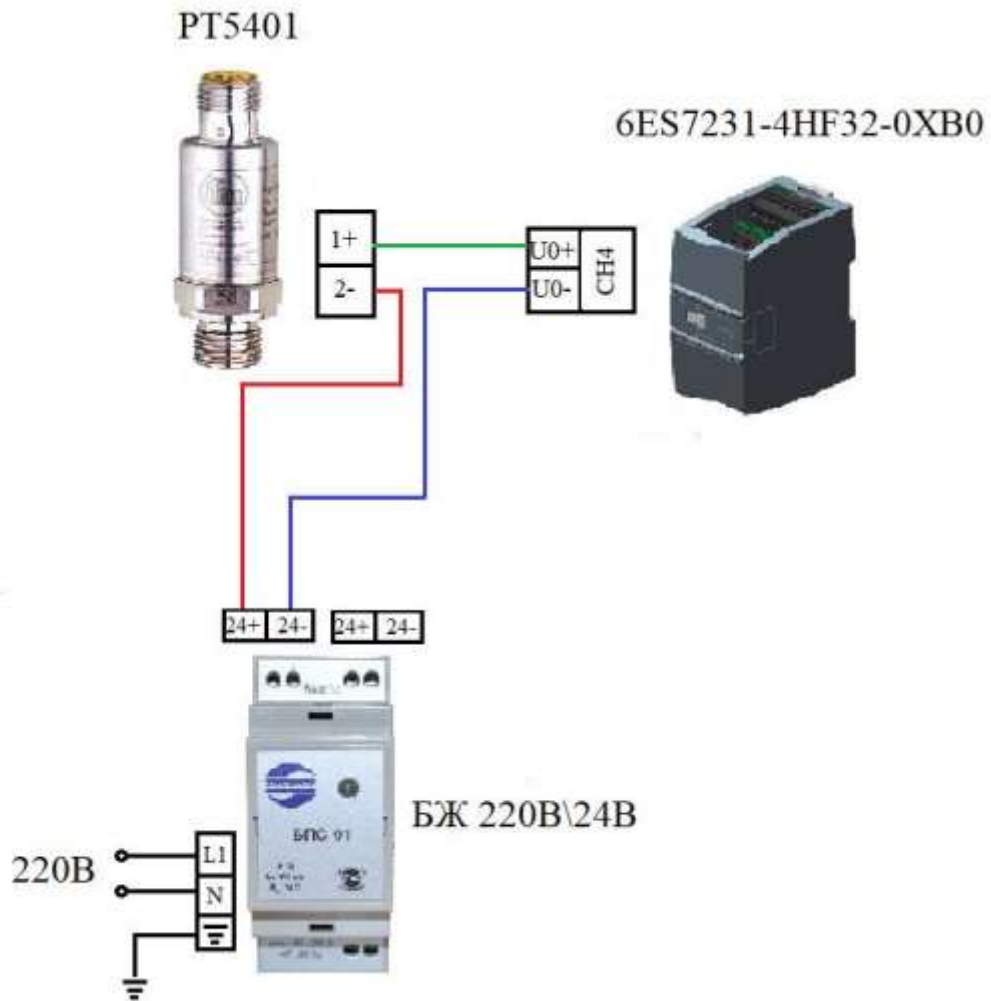


Рисунок 2.4.10 – Графічне зображення підключення технічних засобів контуру контролю тиску

Опис схеми з'єднання:

Вторинний перетворювач тиску РТ (5а) під'єднаний до першого модуля аналогових входів 6ES7231-4HF32-0XB0 на U0+ та U0- клеми CH4 каналу. Після отримання інформації аналоговим входом модуля 6ES7531-7KF00-0AB0 від датчика температури, інформація передається в контролер 6ES7215-1AG40-0XB0, де в залежності від отриманої інформації та написаної програми, опрацьовується, реєструється і служить, як додаткова інформація для роботи системи автоматизації процесу в установці для сушки зерна.

Вторинний перетворювач тиску РТ (6а) під'єднаний до першого модуля аналогових входів 6ES7531-7KF00-0AB0 на U0+ та U0- клеми CH5 каналу.

Після отримання інформації аналоговим входом модуля 6ES7531-7KF00-0AB0 від датчика температури, інформація передається в контролер 6ES7215-1AG40-0XB0, де в залежності від отриманої інформації та написаної програми, опрацьовується, реєструється і служить, як додаткова інформація для роботи системи автоматизації процесу в установці для сушки зерна.

2.5 Опис спеціального програмного забезпечення для мікропроцесорного контролера (алгоритм та програма для ПЛК)

В даній кваліфікаційній роботі програма для функціонування системи автоматизації була розроблена за допомогою програмного середовища SIMATIC STEP 7 Professional V15 (TIA Portal V15) від фірми Siemens.

SIMATIC STEP 7 Professional V15 - це система проектування для програмованих контролерів SIMATIC серій S7-1200, S7-300, S7-400, WinAC, VIPA, та забезпечує оптимальну підтримку нових програмованих контролерів серії SIMATIC S7-1500. STEP 7 V15 базується на функціональних можливостях єдиної робочої середовища проектування Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal), яка дозволяє виконувати однорідну, ефективну і інтуїтивно зрозумілу розробку рішень для всіх завдань автоматизації. [16]

Функції:

- Чудова інтеграція нових контролерів SIMATIC S7-1500, S7-1200, S7-300, S7-400, WinAC, VIPA;
- Безліч нововведень, використовуваних в програмованих контролерах S7-1500 та S7-1200, встановлює нові стандарти продуктивності систем автоматизації. Ідеальна інтеграція в STEP 7 Professional V13 забезпечує отримання максимальної ефективності при виконанні проектних робіт. Подальше розширення функціональних можливостей забезпечує використання PROFINET в якості стандартного інтерфейсу всіх центральних процесорів.
- Ефективне проектування з використанням потужних редакторів програм

STEP 7 V13 підтримує роботу потужних редакторів програм контролерів S7, оснащених оптимізованими компіляторами.

Захист доступу:

Парольний захист від несанкціонованого читання і зміни вмісту програмних блоків. Захист від несанкціонованого копіювання програмних блоків. Програмні блоки можуть бути прив'язані до номера карти пам'яті і запускатися тільки при наявності цієї карти в центральному процесорі. Використання до чотирьох рівнів ідентифікації користувачів з різними правами на виконання робіт в системі автоматизації. Захист від несанкціонованого зміни даних, що передаються між STEP 7 і контролером.

Особливості:

- Ефективне проектування з використанням потужних редакторів програм.
- Наскрізне нарощування функціональних можливостей з використанням всіх лінійок контролерів.
- Організація ефективної взаємодії між контролерами, приладами та системами людино-машинного інтерфейсу і приводами в рамках єдиної робочої середовища.
- Загальний менеджер управління даними і однорідна система символічних імен.
- Системна діагностика як вбудований компонент.
- Трасування змінних для ефективного виконання пусконаладжувальних робіт.
- Гнучкий масштабований набір функцій управління переміщенням.
- Вичерпна концепція використання бібліотек.
- Захист доступу до виробничих і проектних даних.
- Підтримка функцій міграції для існуючих програмних і апаратних продуктів.
- Сумісність з іншими продуктами SIMATIC та VIPA.

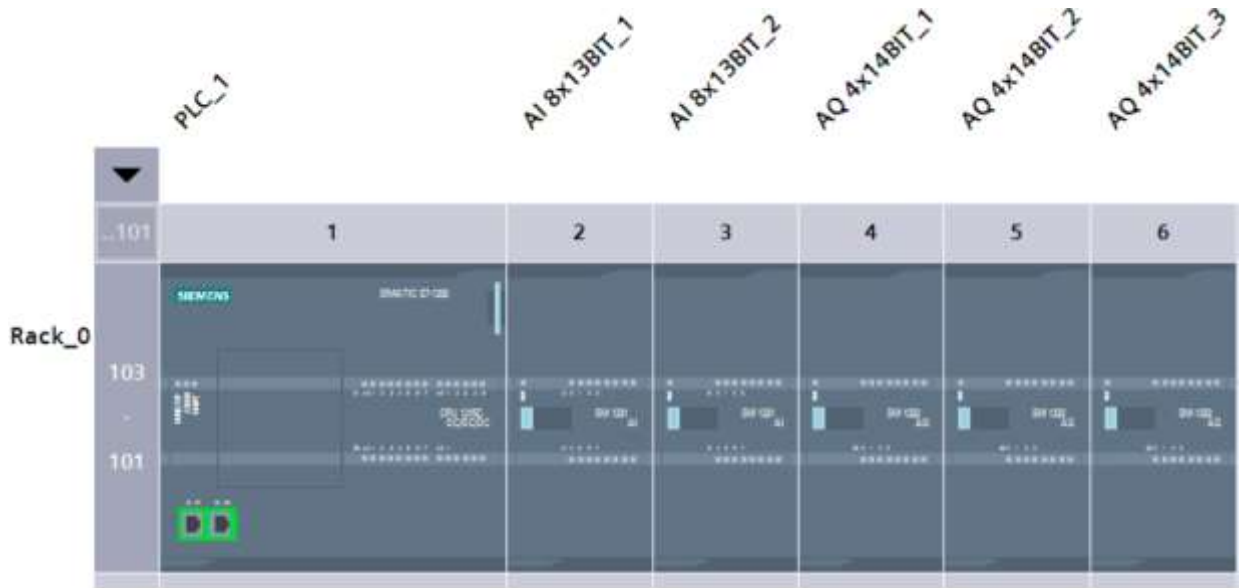


Рисунок 2.5.1 – Апаратна конфігурація контролера

2.6 Алгоритм роботи

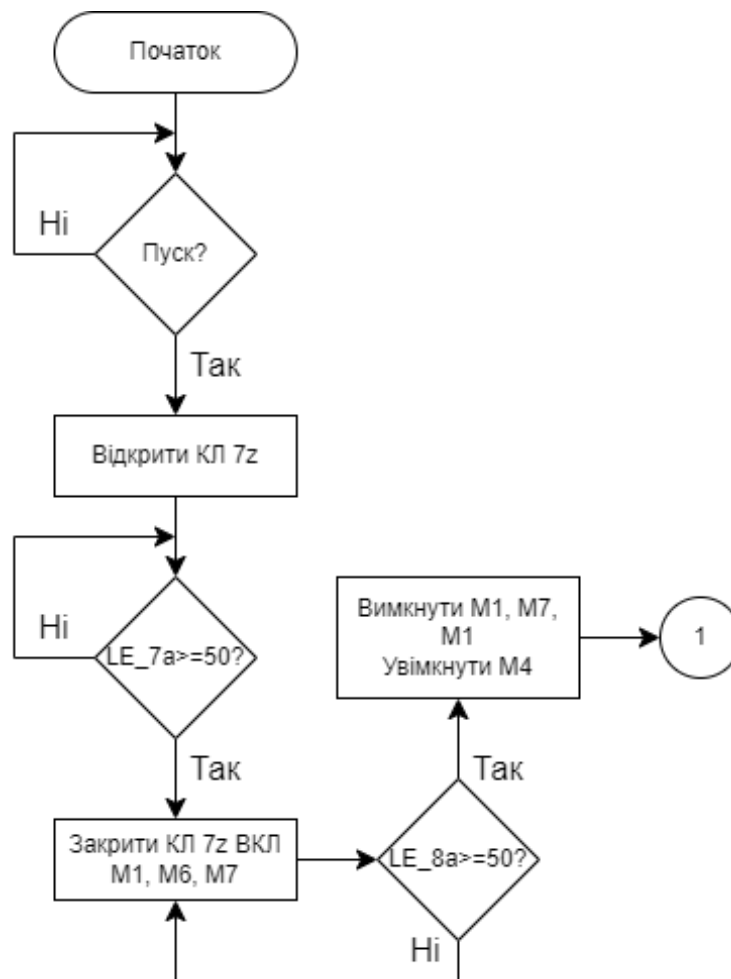


Рисунок 2.6.1 – Алгоритм програми (1)

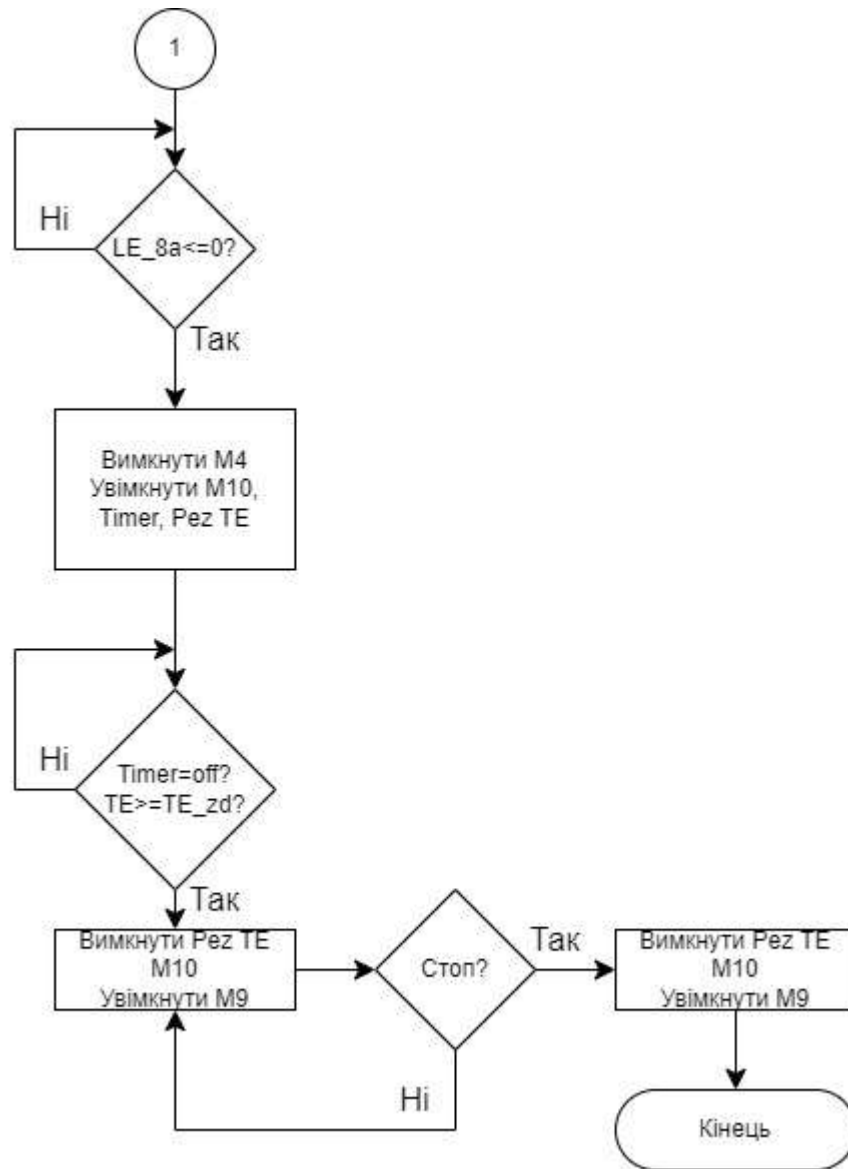


Рисунок 2.6.2 – Алгоритм програми (2)

```

1 IF "Push" OR "Restart" THEN
2     "Restart" := FALSE;
3     "Step1" := TRUE;
4     "KL_7g" := 100.0;
5 END_IF;
6 IF "Step1" AND "Level7a">=50.0 THEN
7     "Step1" := FALSE;
8     "Step2" := TRUE;
9     "M1" := 100.0;
10    "M6" := 100.0;
11    "M7" := 100.0;
12 END_IF;
13 IF "Level8a">=50.0 AND "Step2" THEN
14     "Step2" := FALSE;
15     "Step3" := TRUE;
16     "M1" := 0.0;
17     "M6" := 0.0;
18     "M7" := 0.0;
19 END_IF;
20 IF "Level8a"<=0.0 AND "Step3" THEN
21     "Step3" := FALSE;
22     "Step4" := TRUE;
23     "Reg_TE1" := TRUE;
24     "M10" := 100.0;
25     "Timer1" := TRUE;
26     "IEC_Timer_0_DB".TON(IN:="Timer1",
27                          PT:=t#100s);
28 END_IF;
29 IF "IEC_Timer_0_DB".Q AND "Step4" AND "TE1">="TE1_sd" THEN
30     "Step4" := FALSE;
31     "Step5" := TRUE;
32     "Reg_TE1" := FALSE;
33     "M10" := 0.0;
34     "M9" := 100.0;
35 END_IF;
36
37 IF "Stop" AND "Step5" OR "Stop" THEN
38     "Step5" := FALSE;
39     "M9" := 0.0;
40     "Restart" := TRUE;
41     "Timer1" := FALSE;
42 END_IF;

```

Рисунок 2.6.3 – Код програми

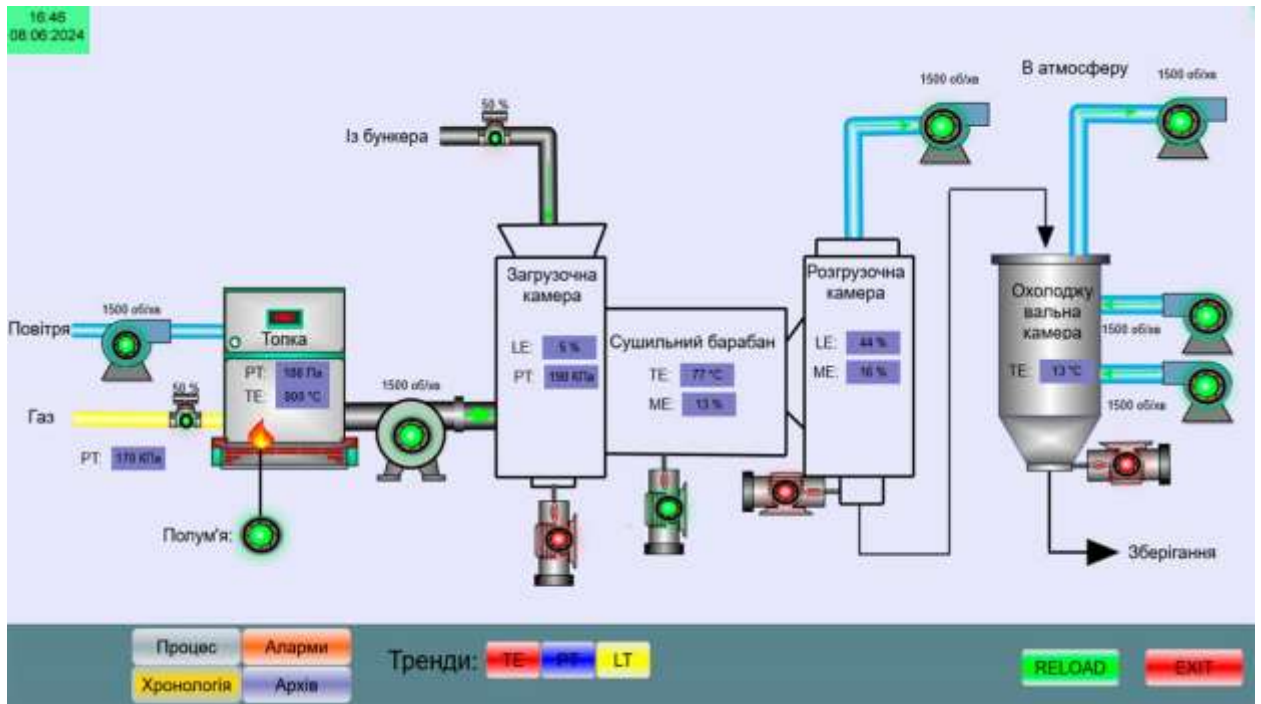


Рисунок 2.6.4 – Мнемосхема оператора (НМІ)

Висновки до розділу 2

Під час виконання даного розділу були виконані наступні задачі:

1. Обрано барабанну зерносушарку СЗСБ-8, як приклад для модернізації сучасною автоматизованою системою керування;
2. Розроблено функціональну схему системи керування зерносушаркою, що в подальшому дало змогу розробити алгоритм роботи системи, а також обрати всі необхідні датчики та модулі системи;
3. На основі функціональної схеми були обрані всі елементи системи необхідні для її праці;
4. Розроблено загальну схему підключень, з урахуванням вибору елементної бази системи;
5. Розроблено алгоритм роботи системи на основі функціональної схеми.
6. Написано програму системи;
7. Створено НМІ системи.

3 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗЕРНОСУШКИ НА БАЗІ ТЕПЛОВОГО НАСОСУ

3.1 Постановка задачі дослідження

Комп'ютерне моделювання – це інструмент математичного моделювання, який застосовується для вивчення складних систем. Комп'ютерні моделі використовуються для отримання нових знань про об'єкт або для наближеної оцінки поведінки систем, занадто складних для аналітичного чи натурного дослідження.

В даному розділі буде досліджено вплив тепловологісних параметрів теплоносія на енергетичні показники роботи теплового насоса.

3.2 Аналіз енергетичних показників процесу теплонасосного сушіння

Для аналізу енергетичних показників та оптимізації процесу сушіння розроблена математична модель розрахунку енерговитрат на зневоднення теплоносія в H-d діаграмі [9].

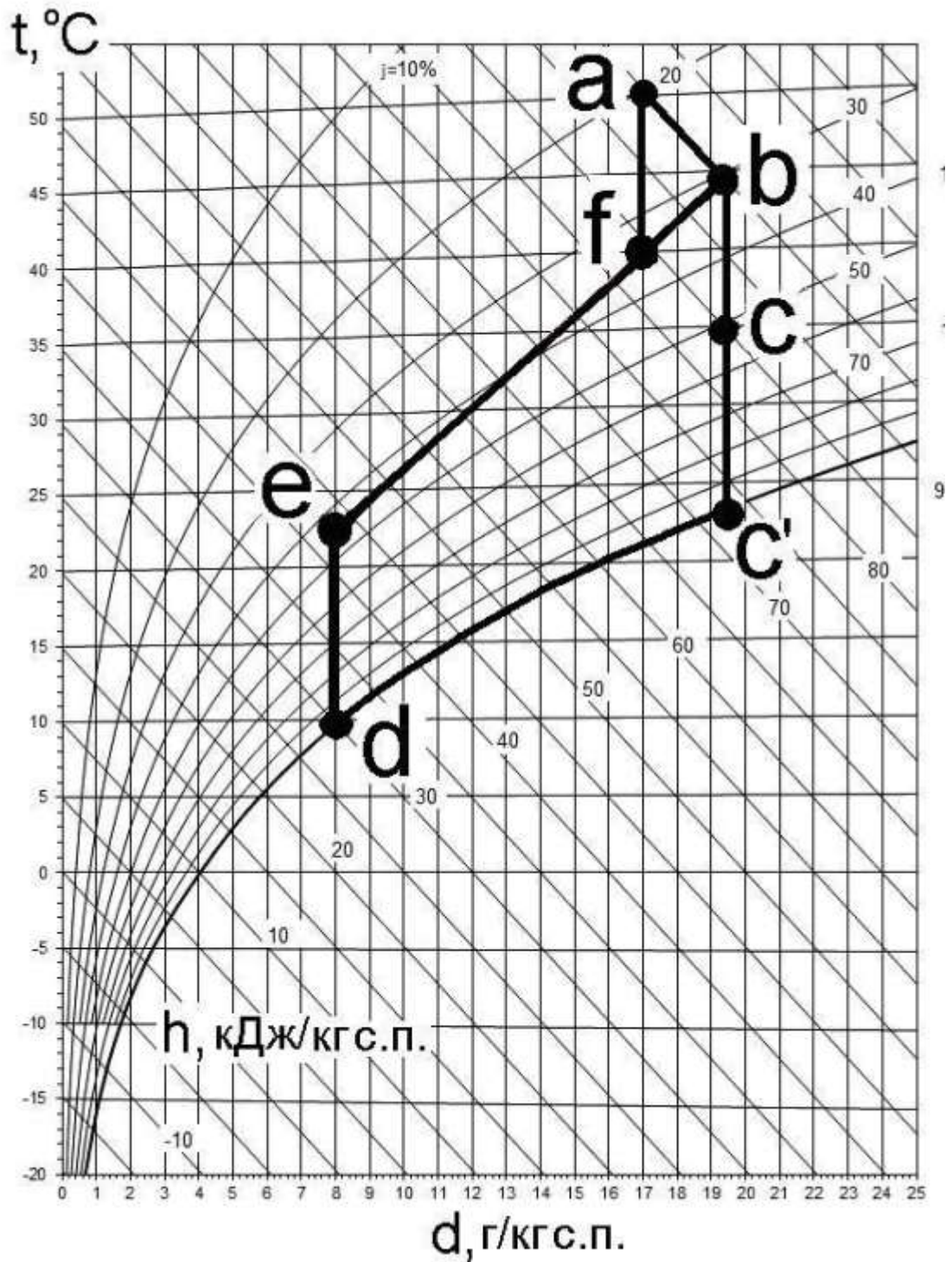


Рисунок 3.2.1 – Процес теплонасосного сушіння в Н-d діаграмі

В розрахунковій програмі задаються такі вихідні дані:

t_a – температура теплоносія на вході до сушильної камери;

d_a – вологовміст теплоносія на вході до сушильної камери, г/кг с.п.;

G_a – витрата теплоносія, кг с.п.;

t_b – температура теплоносія на виході з сушильної камери;

t_d – температура охолодження теплоносія в випарнику теплового насоса;

E – ефективність рекуператора.

Параметри теплоносія в інших ключових точках процесу і енергетичні показники теплонасосного циклу розраховуються за наданим алгоритмом.

Розрахункові параметри:

t_c – температура вологого теплоносія після рекуператора,

t_e – температура осушеного теплоносія після рекуператора;

t_f – температура теплоносія після змішання;

d_b – вологовміст теплоносія на виході з сушильної камери;

d_d – вологовміст осушеного теплоносія;

d_f – вологовміст теплоносія після змішання;

H_a – ентальпія теплоносія на вході до сушильної камери;

H_c – ентальпія вологого теплоносія після рекуператора;

H_d – ентальпія осушеного теплоносія;

H_e – ентальпія осушеного теплоносія після рекуператора;

H_f – ентальпія теплоносія після змішання;

G_{a-b} – витрата теплоносія через сушильну камеру, кг с.п.;

G_{b-c} – частка осушуваного теплоносія, кг с.п.;

Q_o – холодопродуктивність теплового насоса;

Q_k – теплопродуктивність теплового насоса;

ΔQ_k – надлишок теплопродуктивності теплового насоса;

N – споживана потужність теплового насоса;

q – питомі енерговитрати на видалення вологи.

Розрахункові формули для визначення тепловологісних параметрів в ключових точках процесу:

Точка А

t_a - задано; d_a – задано, г/кг с.п.; $G_{a-b} = 1$ кг с.п. ;

$$H_a = 1,006 \cdot t_a + (2501 + 1,85 \cdot t_a) \cdot \frac{d_a}{1000}, \text{ кДж/кг с.п.}$$

Точка В

t_b - задано; $H_b = H_a$;

$$d_b = \frac{1000 \cdot (H_a - 1,006 \cdot t_b)}{2501 + 1,85 \cdot t_b}, \text{ Г/КГ С.П.}$$

Точка С

$$G_{b-c} = G_{a-b} \cdot \frac{d_b - d_f}{d_b - d_e}, \text{ КГ С.П.,}$$

$D_c = d_b$, $d_e = d_d = 3,8474 \cdot e^{0,0679 \cdot t_d}$ – залежність вологовмісту повітря від температури на лінії $\phi = 100\%$ в інтервалі температур $0 \dots 20^\circ\text{C}$;

Якщо $H_b - (H_e - H_d) - 3,3776 \cdot d_b - 8,1529 \geq 0$,

$$\text{Тоді } t_c = \frac{1000 \cdot H_c - 2501 \cdot d_c}{1006 + 1,85 \cdot d_c},$$

$$d_c = d_b, \quad H_c = H_b - (H_e - H_d),$$

Де $H_{c'} = 3,3776 \cdot d_b - 8,1529$ – залежність ентальпії від вологовмісту повітря на лінії $\phi = 100\%$ в інтервалі температур $20 \dots 30^\circ\text{C}$;

Якщо $H_b - (H_e - H_b) \leq H_{c'}$, тоді:

$$t_c = 18,128 \cdot \ln(H_c) - 53,562,$$

$$d_c = 0,1594 \cdot H_c^{1,1164},$$

$$H_c = H_b - (H_e - H_d).$$

Точка D

T_d – задано; $d_d = 3,8474 \cdot e^{0,0679 \cdot t_d}$, Г/КГ С.П.;

$$H_d = 1,006 \cdot t_e + (2501 + 1,85 \cdot t_d) \cdot \frac{d_d}{1000}, \text{ КДЖ/КГ С.П.}$$

Точка E

$$t_e = t_d + E(t_b - t_d);$$

$$d_e = d_d;$$

$$H_e = 1,006 \cdot t_e + (2501 + 1,85 \cdot t_e) \cdot \frac{d_e}{1000}, \text{ КДЖ/КГ С.П.}$$

Точка F

$$t_f = \frac{1000 \cdot H_f - 2501 \cdot d_f}{1006 + 1,85 \cdot d_f};$$

$$d_f = d_a;$$

$$H_f = \frac{H_e \cdot (d_b - d_f) + H_b \cdot (d_f - d_e)}{d_b - d_e}, \text{ кДж/кг с.п.}$$

Розрахункові формули для визначення енергетичних показників теплонасосного циклу при витраті теплоносія через сушильну камеру G_{a-b} кг с.п.:

Холодопродуктивність теплового насоса

$$Q_0 = G_{b-c} \cdot (H_c - H_d) = G_{a-b} \cdot \frac{d_b - d_f}{d_h - d_p} \cdot (H_c - H_d), \text{ кДж.}$$

Споживана потужність теплового насоса

$$N = \frac{Q_0}{COP-1}, \text{ кДж,}$$

Де $COP = 0,45 \cdot \left(\frac{t_a + 273}{t_a - t_d} \right)$ - усереднена величина коефіцієнта перетворення для дійсного циклу парокомпресійних теплових насосів, яка складає 0,45...0,50 COP циклу Карно.

Теплопродуктивність теплового насоса

$$Q_k = Q_0 + N, \text{ кДж.}$$

Надлишкова теплопродуктивність теплового насоса

$$\Delta Q_k = Q_k - G_{a-b} \cdot (H_a - H_f), \text{ кДж.}$$

Енерговитрати на видалення вологи:

$$q = \frac{1000 \cdot N}{G_{b-c} \cdot (d_c - d_d)}, \text{ кДж.}$$

Слід зазначити, що використана в математичній моделі узагальнена формула розрахунку коефіцієнта перетворення COP дозволяє досить точно визначити величину питомих енерговитрат, але не враховує зміну абсолютної величини тепло- і холодопродуктивності теплового насоса при різних режимах роботи, що впливає на його продуктивність по видаленій волозі. Для визначення впливу режиму сушіння на продуктивність сушильної установки необхідно при виконанні розрахунків використовувати робочу характеристику конкретного застосовуваного холодильного компресора. Наприклад, робоча

характеристика холодильного компресора на R-134a показує, що при зниженні температури кипіння холодоагенту з 15 °С до 5 °С його холодопродуктивність і, відповідно, вологовидалення зменшується в 1,5 рази.

Висновки до розділу 3

Енерговитрати в процесі теплонасосного сушіння в значній мірі залежать від вологовмісту та температури теплоносія. Чим більше осушується теплоносій, тим вищі енерговитрати на видалення вологи. При осушенні глибше за $d = 15$ г/кг с.п. енерговитрати різко зростають. Також величина енерговитрат на зневоднення зростає з підвищенням температури сушіння. Тому при застосуванні теплового насоса оптимальні температури сушіння становлять 50...55 °С. Застосування рекуперативного теплообмінника дозволяє в залежності від його ефективності в 1,5...2 рази зменшити енерговитрати на процес сушіння.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Заходи з охорони праці

4.1.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів процесу

У даній роботі розглядається автоматизація контролю температури в зерносушарці. У якості об'єкта для якого будуть розглядатися шкідливі фактори й заходи щодо охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях будуть ті робочі місця, де розташовується виробниче обладнання, що забезпечує весь технологічний процес, та місце людини яка слідує за технологічним процесом [17].

Перелік небезпечних та шкідливих факторів наведено у таблиці 4.1.1

Таблиця 4.1.1 Характеристика шкідливих і небезпечних виробничих факторів

Назва фактору	Джерела небезпечних факторів	Наслідки	Характеристика
Підвищений рівень шуму	Вентилятори пальника	Погіршення слуху	75-85 ДБ
Підвищена напруга	Двигуни постійного струму	Електричні опіки або смерть	380 В
Підвищена запиленість	Місце зсипання зерна	Захворювання легень	ПДК - 2.25мг/м ³
Фізична і моральна втома	Робоче місце оператора	Емоційне вигорання, перевтома.	-

Сидячий тип роботи	Робоче місце оператора	Проблеми та порушення опорно-рухового апарату	-

Заходи щодо боротьби з шумом

Захист від шуму необхідно забезпечувати, передусім, за рахунок використання шумобезпечної техніки, і тільки в разі неможливості вирішення цього питання, за рахунок використання заходів і засобів колективного та індивідуального захисту.

Для зниження шуму необхідно використовувати конструктивні та технологічні методи зниження шуму у самому джерелі походження. Надзвичайно ефективним методом зниження шуму в джерелі його виникнення в деяких випадках може стати зміна технологій. Цього можна досягти:

- підвищенням якості балансування обертових деталей;
- підвищенням класу точності виготовлення деталей;
- поліпшенням змащування;
- заміною підшипників кочення на підшипники ковзання;
- використанням негучних матеріалів (наприклад, пластмаси);
- використанням гнучких сполучень.

Заходи щодо боротьби з вібрацією

Для послаблення вібрацій прокласти віброізоляцію, встановити на обладнання пружинні або гумові прокладки. Вібруючі машини з динамічним навантаженням (вентилятори, агрегати) встановлювати на окремі фундаменти. Для зменшення вібрацій слід дотримуватися простих правил: збірка деталей має відбуватися надійно для уникнення проміжку між ними, зміна мастила не

рідше ніж 2 рази на рік, своєчасний ремонт зламаного або пошкодженого обладнання.

Електробезпека

Розглянемо заходи захисту від ураження струмом для персоналу:

- До роботи мають бути допущені особи які пройшли навчання і мають відповідний документ про це.
- Працюючий персонал (в тому числі і ремонтний) повинен мати під час роботи засоби індивідуального захисту (чоботи, рукавички гумові та килимки з непровідників струму.
- Для безпеки при роботі з струмом всі провідні елементи мають бути надійно заземленні на випадок порушення ізоляції.
- Категорично забороняється проводити ремонт елементів без попереднього відключення напруги.

Заходи для комфортної роботи оператора

Для зручної роботи оператора за пультом керування необхідно ввести деякі правила під час його роботи:

- під час роботи забезпечити зручне робоче місце (офісне крісло, справний монітор та інші аксесуари до комп'ютера);
- робочий графік згідно стандартів (між змінами має бути не менше ніж 12 годин);
- по можливості забезпечити співробітників пульта керування окулярами для комп'ютерів, які зменшать шкідливий вплив на зір.

4.1.2 Питання техніки безпеки при виготовленні системи

Правила по техніці безпеки при монтажі і експлуатації повинні відповідати «Правилам технічній експлуатації електроустановок споживачів і правилам техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів» в частині, що стосується електроустановок до 1000 В. Корпус пристрою при

експлуатації повинен бути надійно заземлений через кріплення до стійки. При технічному обслуговуванні (ремонті) вузлів системи температура жала паяльника при лудінні і паянні мікросхем повинна бути не більше + 260 °С, а час паяння не повинен перевищувати 5 сек. Жало паяльника необхідно заземлити. При паянні обов'язково застосування заходів захисту корпусів мікросхем і транзисторів від попадання флюсу і припою. Напруга живлення електропаяльника не повинна перевищувати 36 В, а потужність не більше 40 Вт.

Машини або апарати, хоча б що раз знаходилися під робочою напругою (приєднані до збірних шин або до джерела живлення), прирівнюються до апаратури, що знаходиться в експлуатації, і всі роботи по їх перевірці і наладці потрібно виконувати відповідно до правил безпеки при експлуатації електроустановок. Якщо ж знадобляться якісь доробки силами монтажників або будівельників, електроустановка повинна бути не просто відключена і заземлена, а переведена в число недіючих шляхом демонтажу ділянок шин, шлейфів, відокремлення кабелів. Всі роботи по монтажу електродвигуна потрібно виконувати до підключення до нього дротів.

Забороняється суміщати отвори в збираних деталях пальцями. Треба користуватися ломиками, борідками. Не можна підтримувати вручну під час приварювання, конструкції масою більше 10 кг або дрібні деталі. Їх слід зварки укріпити струбцинами. Пробиваючи отвори в цеглині або бетоні, слід надягати захисні окуляри. При крізній пробивці треба користуватися шлямбурами або скарпелями, довжина яких не менше ніж на 200 мм перевищує товщину стіни. Всі конструкції закріплюють відповідно до проекту всіма болтами або зваркою. Підняті для монтажу елементи устаткування негайно закріплюють на місці повністю відповідно до проекту. При регулюванні приводів вимикачів треба видалити з ланцюгів управління приводу плавкі запобіжники щоб уникнути випадкового дистанційного включення або відключення. Не можна спускати і натягувати пружини без

спеціальних пристосувань.

4.1.3 Питання техніки безпеки при експлуатації системи

При експлуатації зерносушарок обслуговуючий персонал зобов'язаний знати і виконувати правила техніки безпеки. До роботи допускаються особи, що успішно склали іспит за правилами техніки безпеки і протипожежної безпеки. Крім того, на кожному робочому місці повинен бути проведений інструктаж за правилами безпеки обслуговування машин і механізмів і протипожежної безпеки.

У обов'язки оператора зерносушарки входить нагляд за справним станом і роботою устаткування, що відноситься до зерносушарки. Оператор зерносушарки контролює роботу оператора топки, дає йому вказівки про час пуску її в роботу, про температуру агента сушки і про зупинку топки і сушарки. Обслуговувати зерносушарку дозволяється тільки в комбінезоні і береті, при цьому обшлаг рукавів і брюк повинен бути застебнутий, волосся прибрано під головний убір. Забороняється носити поверх комбінезона теплий одяг і поясний ремінь.

На робочих місцях і поверхах сушарки встановлюють дзвінки гучного бою, які включають як з пульта управління, так і з робочого місця. Пуск і зупинка машин і механізмів повинні здійснюватися і з пульта управління, і з робочого місця. Обслуговування електричних мереж, приводу машин і механізмів, освітлення, мереж вторинної комутації, диспетчеризація і контроль здійснюються електриком, який має розряд не нижче за IV.

Майданчики обслуговування захищають міцними поручнями заввишки не менше 1 м з суцільною обшивкою знизу на висоту 0,2 м. Драмбини повинні бути міцними. Відстань по висоті між ступенями при куті нахилу до горизонту 45° - 200 мм, а при куті 60° - 250 мм. Огорожі привідних пасів роблять легкими, міцними і встановлюють так, щоб зручно і безпечно проводити прибирання біля устаткування, нижня частина огорожі не повинна доходити до підлоги на 100 мм.

Причинами нещасних випадків при обслуговуванні конвеєрів, вентиляторів є допуск до обслуговування механізмів робочих без інструктажу і практичного навчання безпечним методам праці безпосередньо на робочому місці. Приймаючи зміну, необхідно переконатися в справності устаткування, механізмів, приладів, наявності і справності огорож частин, які обертаються.

При обслуговуванні вентиляційного устаткування зерносушарок повинні виконуватися наступні вимоги [18]:

- щоб уникнути аварій і нещасних випадків колесо вентилятора повинне бути добре відбалансоване, що забезпечує роботу вентилятора без вібрацій;
- вентилятор повинен працювати плавно, без стукотів і великого шуму, огорожа повинна бути справною і міцно закріпленою;
- для зменшення шуму необхідно добре змащувати шарикопідшипники;
- вентилятор повинен бути добре закріплений на фундаменті або на перекритті;
- при з'єднанні вентилятора з електроприводом за допомогою гнучкої муфти осі їх повинні співпадати; при недотриманні цієї умови виникає биття валу, поломки, що приводить до аварії і травматизму;
- заземлення струмоприймачів і ізоляції електроприводів вентиляційного устаткування повинні бути справними;
- необхідно звертати увагу на дотримання зазору між всмоктуючим патрубком і робочим колесом вентилятора; збільшення зазору приводить до зменшення подачі вентилятора;
- частота обертання робочого колеса вентилятора повинна бути в межах паспортних значень, зниження її приводить до зменшення продуктивності сушарки;
- необхідно усувати причини налипання на лопатки колеса вентилятора пилу; щільна маса пилу може бути причиною зниження подачі вентилятора і його вібрації.

При обслуговуванні конвеєрів і норій необхідно:

- перевірити наявність і справність всіх огорож, за відсутності огорож приводів конвейерів і норій пускати його в роботу не дозволяється; особливо небезпечна робота конвейерів і норій з відкритими зубчатими передачами, оскільки вона може привести до важкого нещасного випадку;
- до початку робіт перевірити чистоту робочого місця, справність заземлення електродвигунів, конвейерів, норій, пускових пристроїв і міцність болтових з'єднань;
- стежити за нормальним натягненням ременів приводів конвейерів і норій, при ослабленні для його натягнення слід відсунути електродвигун по направляючих полозах; якщо цього не можна зробити, ремінь необхідно замінити.

Не дозволяється:

- допускати під час роботи конвейера і норій збігання стрічки убік, в результаті цього знижується їх продуктивність і збільшується витрата електроенергії;
- користуватися палицями або іншими предметами, ставлячи їх як додаткову опору для запобігання збіганню стрічки;
- змащувати приводний пас для зменшення ковзання каніфоллю або іншими терпкими речовинами; це приводить до швидкого зносу ременів і є однією з основних причин аварій і нещасних випадків;
- тягнути руками за стрічку, допомагаючи ходу при пуску конвейерів і норій.

Вантажі натяжної станції захищають на висоту 2 м від підлоги. Натягач повинен бути забезпечений запобіжним пристосуванням, що запобігає ослабленню конвейерної стрічки при обриві натяжного вантажу. Пожежна небезпека сушарок обумовлена наявністю в ній легкозаймистих матеріалів - пилу, полови, органічної домішки і висушеного зерна, що потрапило в дифузори. В процесі сушки відбувається виділення пилу. Пил осідає на нерівності стінок сушильних шахт, а також в напірно-розподільних камерах на

горизонтальних ділянках (куточках, швелерах) і інших конструктивних елементах. Піддаючись тривалому нагріву, вона може самозагорітися.

Основним небезпечним місцем в пожежному відношенні є топка. Тому особлива увага при експлуатації сушарки необхідно приділяти топці. При роботі з рідким і газоподібним паливом створюються кращі санітарно-гігієнічні умови в порівнянні з роботою на твердому паливі. Агент сушки не повинен містити диму, кіптяви і запасу сірчистих газів. Топкові і передтопкові приміщення необхідно виконувати з матеріалів, що не згорають. В період розпалювання і в процесі роботи топки повинно бути забезпечено повне згорання палива. Стійке горіння палива спостерігається при температурі 800...1000°C. Про процес горіння можна судити по характеру і кольору полум'я. Якщо полум'я жовте і не коптить, факел рівний, стійкий, то процес горіння протікає нормально. Червонобуре полум'я свідчить про неповне згорання палива.

Правила експлуатації топки на рідкому паливі з використанням форсунки Ф1 передбачають тиск палива перед форсункою (1,5...1,75) 105 Па. Для забезпечення необхідного тиску повітря перед форсункою частота обертання колеса вентилятора АВД повинна бути 5900 об/хв. При недостатньому тиску палива важко відрегулювати форсунку для забезпечення потрібної температури агента сушки. Крім того, у форсунці погано розпилюється паливо, внаслідок чого відбувається неповне його згорання з утворенням диму і кіптяви. При зупинці топки необхідно додатково перекивати паливопровід ручним вентиляем. Інакше, особливо при поганій роботі електромагнітного вентиля, можлива течя палива через форсунку на розжарену форкамеру. Інтенсивне випаровування палива в цьому випадку приводить до накопичення вибухонебезпечної суміші в топковому просторі. Можливість вибуху можна ліквідувати при включенні вентилятора сушильної шахти або камери нагріву, яким ця суміш витягується з топки. Проте в деяких випадках при розпалюванні топки спостерігають характерні виляски, що значно підвищують тиск в топковому об'ємі. Враховуючи це, для

запобігання руйнуванню топки повинні бути передбачені противибухові клапани. Їх роль замінюють спеціальні отвори в перекритті топки або з її боків. Як противибуховий клапан служить і канал для підведення атмосферного повітря. Площа противибухових клапанів повинна складати не менше $0,1 \text{ м}^2$ на 1 м^3 об'єму топкового простору. При експлуатації топки необхідно уважно стежити за справністю і чіткістю роботи автоматики процесу горіння палива, а також за справністю основних блокувань технологічного процесу сушки.

Для виконання вимог по електробезпеці необхідно добре знати принципову електричну схему автоматики сушарки.

Вона передбачає:

- попереджувальну сигналізацію;
- дистанційний запуск електродвигунів;
- автоматизацію процесу горіння палива;
- сигналізацію про положення рівня зерна в бункері;
- сигналізацію про перевищення температури агента сушки;
- припинення випуску зерна при зниженні його рівня нижче за допустиме;
- зупинку топки при аварійній температурі агента сушки.

Вимоги автоматики процесу горіння передбачають:

- електромагнітний клапан повинен блокуватися з паливним насосом, вентилятором високого тиску АД і вентиляторами сушарок;
- якщо електродвигуни цього устаткування не включені або вентилятором АД не розвиває необхідний тиск повітря перед форсункою, то паливо до форсунки не поступить;
- подача звукової сигналізації при підвищенні температури агента сушки і подальше підвищення температури супроводжуються відключенням топки;
- експлуатація топки без елементів автоматики категорично забороняється, оскільки порушення цієї вимоги може привести до вибухів топкових газів і пожежі.

4.2 Безпека у надзвичайних ситуаціях

4.2.1 Основні правила безпеки у надзвичайних ситуаціях

Надзвичайна ситуація (НС) - порушення нормальних умов життя і діяльності людей на об'єкті або території, спричинене аварією, катастрофою, стихійним лихом чи іншою небезпечною подією, яка призвела (може призвести) до загибелі людей та (або) значних матеріальних втрат.

Під час технологічного процесу може виникнути ситуація, яка загрожуватиме життю не тільки працівникам, а й людям поза його межами. У таких випадках працівник зобов'язаний дотримуватися деяких правил:

- негайно сповістити про це в пожежну охорону (у випадку пожежі)
- Повідомити про надзвичайну ситуацію керівника чи відповідну компетентну посадову особу та (або) чергового по об'єкту;
- Прийняти (за можливості) заходи щодо евакуації людей, гасіння і схоронності матеріальних цінностей;
- Посадова особа об'єкта, що прибула до місця надзвичайної ситуації зобов'язана:
- У випадку загрози життю людей негайно організувати їх евакуацію, використовуючи для цього наявні сили і засоби;
- Вивести за межі небезпечної зони всіх працюючих, незв'язаних з ліквідацією надзвичайної ситуації;
- За необхідності відключити електроенергію (за винятком систем протипожежного захисту), зупинити транспортуючі пристрої, агрегати, апарати, перекрити сировинні, газові, парові і водяні комунікації, зупинити систему вентиляції в аварійному і суміжних з ним приміщеннях.

4.2.2 Безпека праці в надзвичайних ситуаціях у разі вибуху

Ознаки, що свідчать про небезпеку вибуху. На небезпека вибуху може вказувати запах газу і задимлення. Близько приміщення – сліди ремонтних робіт, ділянки стіни з порушеним забарвленням, що відрізняється від загального фону.

Вторинні наслідки від вибухів. Дія повітряної ударної хвилі може викликати вторинні наслідки, так як при вибуху вибухової речовини в атмосфері виникають ударні хвилі, що поширюються з великою швидкістю у вигляді областей стиску. Ударна хвиля досягає земної поверхні і відбивається від неї на деякій відстані від епіцентру вибуху, фронт відбитої хвилі зливається з фронтом падаючої хвилі, внаслідок чого утворюється так звана головна хвиля з вертикальним фронтом. При наземному вибуху повітряна ударна хвиля, як і при повітряному вибуху, поширюється від епіцентру з вертикальним фронтом [19].

Дії при вибухах:

- при вибуху на підприємстві перш за все необхідно попередити робітників і службовців, а також оповістити яке проживає поблизу населення;
- необхідно скористатися індивідуальними засобами захисту, а при їх відсутності для захисту органів дихання – використовувати ватно-марлеву пов'язку;
- при пошкодженні будівлі вибухом входити в нього слід з надзвичайною обережністю. Необхідно переконатися у відсутності значних ушкоджень перекриттів, стін, ліній електро-, газо-і водопостачання, а також витоків газу, осередків пожежі.
- якщо вибух викликав загоряння, необхідно використовувати первинні засоби (вогнегасники). Для недопущення поширення вогню треба задіяти пожежні крани і гідранти.
- необхідно надати допомогу тим, хто опинився придавлений уламками конструкцій. Допомогти витягти людей з завалів;

- при порятунку постраждалих слід дотримуватися запобіжних заходів від можливого обвалу, пожежі та інших небезпек, обережно вивести і надати їм першу медичну допомогу, загасити палаючий одяг, припинити дію електричного струму, зупинити кровотечу, перев'язати рани, накласти шини при переломі кінцівок.

Висновки до розділу 4

У цьому розділі кваліфікаційної роботи було розглянуто шкідливі та небезпечні виробничі фактори, що впливають на здоров'я працівників та оператора зерносушарки. Були описані та обґрунтовані заходи щодо зниження рівня дії шкідливих факторів. Ці заходи дозволять підвищити працездатність персоналу, знизити стомлюваність та заподіяти шкоди здоров'ю.

Розглянуті питання безпеки при експлуатації системи.

Також були розглянуті питання безпеки для працівників та оператора зерносушарки у разі виникнення надзвичайної ситуації.

ВИСНОВКИ

Результатом виконання кваліфікаційної роботи стала розробка сучасної системи керування барабанною зерносушаркою СЗСБ-8. Були розроблені технічні завдання, функціональна і електрична принципова схема. Дослідження існуючих типів сушіння і зерносушарок дало необхідні дані для збільшення функціоналу, а також кількості параметрів які вимірює та регулює розроблена система.

Мікроконтролером системи було обрано Siemens Simatic S7-1200 . Для вимірювання параметрів зерносушарки були обрані наступні датчики:

- Вимірювальний перетворювач температури SITRANS TF2;
- Електронний датчик тиску PT5401;
- Рівнемір VEGAPULS SR 68;
- Датчик вологості Stego CSS 014.

Для керування двигунами нагнітачів повітря, а двигунами камер зерносушарки, було частотний перетворювач ABB ACS310.

Для моніторингу та контролю параметрів сушки, система під'єднана до комп'ютера оператора системи по інтерфейсу RS-485.

В подальшому систему можна модернізувати, для бездротового зв'язку з комп'ютером оператора за допомогою WiFi або IoT (Internet of Things).

Розраховано математичну модель енергетичної ефективності теплового насоса.

Розглянуті питання охорони праці, а також питання безпеки для працівників та оператора зерносушарки у разі виникнення надзвичайної ситуації.

Результати роботи опробовані на конференції "Могилянські читання – 2023".

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Технологія сушіння зерна в зерносушарках [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://ukrbukva.net> (дата звернення: 25.12.2023).
2. Сушка зерна [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://eco-agro.com.ua> (дата звернення: 27.12.2023).
3. Цугленок, Н.В. Функціональне опис процесу сушіння зерна/Н.В. Цугленок, С.К. Манасян, Н.Н. Конусів// Укр. КрасГАУ. - 2005. - № 8. - С. 217-221. (дата звернення: 22.12.2023).
4. Станкевич Г.М., Страхова Т.В., Атаназевич В.І. Сушіння зерна. К.: Либідь, 1997. -352с. (дата звернення: 19.12.2023).
5. Пунков С.П., Стародубцева О.І. - Зберігання зерна, елеваторно-складське господарство і зерносушіння - Агропромиздат, 1990. - 331с.; (дата звернення: 12.12.2023).
6. Ленкова Т.М. Ефективність СВЧ-обробки зерна / Ленкова Т., Паньков П. // Комбікорми. - 2000. - № 4. - С. 31-32. (дата звернення: 27.12.2023).
7. Рідко В.І. Зерносушіння і зерносушарки / Рідко В.І., Різьбярів В.А., Уколов В.С. - М.: Колос, 1982. - 239 с. (дата звернення: 25.12.2023).
8. Манасян, С.К. Синтез сушильної камери шахтної зерносушарки як об'єкта управління // Укр. КрасГАУ. - 2004. -№ 4. -С. 151-156. (дата звернення: 03.01.2024).
9. Аналіз енергетичних показників процесу теплонасосного сушіння / Ю.Ф. Снежкін, Д.М. Чалаєв, Н.О. Дабіжа // Промислова теплотехніка. — 2017. — Т. 39, № 3. — С. 47-52. (дата звернення: 25.11.2023).
10. SITRANS TF2, польового виконання з термосенсором [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.avigan.com.ua> (дата звернення: 24.04.2024).

11. Датчик тиску IFM PT5401 [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://peko.com.ua> (дата звернення: 23.04.2024).
12. Рівнемір VEGAPULS SR 68 [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.koda.ua> (дата звернення: 24.04.2024).
13. SMART SENSOR CLIMATE DIGITAL CSS 014 [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.stego-group.com> (дата звернення: 26.04.2024).
14. Частотний перетворювач ABB ACS310-03E-17A2-4 [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://atmic.ua> (дата звернення: 25.04.2024).
15. SIMATIC S7-1200 - гнучке рішення Ваших завдань [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.siemens.com> (дата звернення: 19.04.2024).
16. Totally Integrated Automation Portal – Завжди готовий до майбутнього [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.siemens.com> (дата звернення: 04.05.2024).
17. Голінько В.І. Основи охорони праці. - Д.: Національний гірничий університет, 2008. – 265 с. (дата звернення: 28.05.2024).
18. Вимоги безпеки під час переробки та зберігання зерна : вебсайт. URL : <https://ohoronapraci.com.ua> (дата звернення: 02.06.2024).
19. Вимоги безпечної експлуатації зерносушарок : вебсайт. URL : <https://accountingcnt.com.ua> (дата звернення: 03.06.2024).