

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 636.5252/58:62 503.51

ПОГОДЖЕНО

Директор ННІ енергетики,
автоматики і енергозбереження
(назва ННІ)

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

В.о завідувача кафедри автоматики
та робототехнічних систем
ім. акад. І.І. Мартиненка
(назва кафедри)

_____ В.В. Каплун
(підпис) (ПІБ)

_____ О.О. Опришко
(підпис) (ПІБ)

«__» _____ 2025 р.

«__» _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

02.06.-КМР.2059"С".2024.18.11.03ПЗ

на тему **«РОЗРОБЛЕННЯ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ
СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРОЮ В КОНВЕСРНІЙ
ЗЕРНОСУШАРЦІ»**

Спеціальність: 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка»

(шифр і назва)

Магістерська програма: Комп'ютерно-інтегровані системи управління
технологічними процесами у галузях АПК
(назва)

Гарант освітньої програми _____

(підпис)

Т.І. Лендел, к.т.н., доцент

(П.І.Б, науковий ступінь та вчене звання)

Виконав _____

(підпис)

А.С. Зінченко

(П.І.Б студента)

Керівник магістерської роботи _____

(підпис)

В.Є. Лукін, к.пед.н., доц.

(П.І.Б, науковий ступінь та вчене звання)

КИЇВ-2025

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри
автоматики та робототехнічних
систем ім. акад. І.І. Мартиненка

О.О. Опришко

« ____ » _____ 2025р.

ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ
(бакалаврської, дипломної)

Зінченку Андрію Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Спеціальність: 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Магістерська програма: Комп'ютерно-інтегровані системи управління технологічними процесами у галузях АПК

Тема магістерської роботи **«РОЗРОБЛЕННЯ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРОЮ В КОНВЕЄРНІЙ ЗЕРНОСУШАРЦІ»**, затверджена наказом від 18.11.2024 року №2059«С»

Термін подання студентом магістерської роботи 14.11.2025 року

Вихідні дані до магістерської роботи: завдання кафедри на виконання магістерської роботи; нормативні документи по проектуванню об'єктів автоматизації; матеріали дослідження та аналізу; наукова література з тематики магістерської роботи.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Технологічні процеси сушіння зерна в агропромисловому комплексі.
2. Дослідження об'єкта автоматизації.
3. Вибір регулятора та обґрунтування параметрів його налаштувань.
4. Розробка цифрової системи керування.
5. Схеми системи автоматизації.
6. Розробка засобів візуалізації технологічного процесу.
7. Техніко-економічне обґрунтування.

Дата видачі завдання «18» 11 2024 року

Керівник магістерської роботи _____

(Підпис)

Лукін В.Є.

(Прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____

(Підпис)

Зінченко А.С.

(Прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

Вступ	5
РОЗДІЛ 1. Технологічні процеси сушіння зерна в агропромисловому комплексі	8
1.1. Особливості процесу сушіння зерна	8
1.2. Технологічні установки для сушіння зерна	11
1.3. Принцип роботи конвеєрних зерносушарок Alvan Blanch	14
1.4. Функціональна схема автоматизації системи керування конвеєрною зерносушаркою Alvan Blanch	21
РОЗДІЛ 2. Дослідження об'єкта автоматизації	25
2.1. Розробка математичної моделі об'єкта автоматизації	25
2.2. Розробка та дослідження імітаційної моделі об'єкта автоматизації із використанням математичних пакетів MATLAB та MathCad	29
2.3. Визначення передатної функції конвеєрної зерносушарки для каналу керування температурою зерна	35
РОЗДІЛ 3. Вибір регулятора та обґрунтування параметрів його налаштувань	38
3.1. Вибір алгоритму керування та визначення параметрів настройки регулятора	38
3.2. Реалізація алгоритму керування	39
3.2.1. Вибір програмно-логічного контролера та модулів розширення підключення датчиків температури та вологості	41
3.2.2. Вибір датчиків температури зерна і агенту сушіння та визначення їх передатних функцій	43
3.2.3. Вибір датчиків вологості зерна	46
3.2.4. Вибір датчиків рівня зерна	48
3.2.5. Визначення передатної функції електродвигуна приводу вивантажувального шнеку як виконавчого механізму САК температурою зерна	50
3.2.6. Вибір частотного перетворювача	53
РОЗДІЛ 4. Розробка цифрової системи керування	57
РОЗДІЛ 5. Схеми системи автоматизації	65
5.1 Розробка схеми електричної принципової системи автоматичного керування конвеєрною зерносушаркою Alvan Blanch	65
5.2. Вибір апаратури захисту та керування	70
5.2.1. Вибір автоматичних вимикачів	72
5.2.2. Вибір електромагнітних пускатів	75
5.2.3. Вибір проміжних реле	77
5.3. Вибір проводів та кабелів	78

5.4. Розробка електричних схем з'єднань та підключень системи керування конвеєрною зерносушаркою Alvan Blanch	80
5.5. Вибір щита керування	83
РОЗДІЛ 6. Розробка засобів візуалізації технологічного процесу	86
РОЗДІЛ 7. Техніко-економічне обґрунтування	94
Висновки	98
Список використаної літератури	99
Додатки	100

ВСТУП

Актуальність теми. У агропромисловому виробництві, переробної та харчової галузях доводиться стикатися із загальною задачею підвищення збереженості зернової, плодоовочевої та іншої сільськогосподарської продукції, для чого в останні десятиріччя були створені численні технології сушіння різних продуктів.

Процес сушіння зерна є одним із найважливіших етапів обробки збіжжя і підготовки його до зберігання. Треба не просто висушити зерно до певної вологості, ще більш важливо – щоб у процесі сушки воно не втратило своїх якісних показників.

Сушіння – складний технологічний тепломасообмінний процес, який застосовують задля збереження всіх властивостей речовин у зерні, що можливо за умови дотримання оптимальних параметрів цього процесу. Завдяки сушінню із свіжозібраної зернової маси видаляється вся надлишкова волога і зерно доводиться до сухого стану, що забезпечує подальшу надійну збереженість продукції.

Під час сушіння постійно змінюються термодинамічні й теплофізичні властивості зерна, зокрема теплоємність і теплопровідність. Тому необхідно якомога ретельніше дотримуватися рекомендованих режимів сушіння насіння кожної культури залежно від його вологості та цільового призначення.

Відомо, що в сухій зерновій масі всі живі компоненти, крім шкідників та комах, перебувають в анабіотичному стані. Зберігання зерна сухим – основний засіб підтримання високої життєдіяльності насіння в зернових партіях усіх культур, а також якості продовольчого зерна протягом тривалого строку зберігання.

Усі способи сушіння зерна враховують сорбційні та інші його властивості. Зерно як об'єкт сушіння – це живий організм з капілярно-пористою структурою. Плодові оболонки насіння пронизані каплярами, тому є проникними для пари води. Насінні оболонки й алейроновий шар, навпаки,

відносно малопроникні для пари води і за неправильного режиму сушіння можуть бути причиною здуття зерна, спричиненого затримкою видалення водяної пари, яка накопичилась всередині ендосперму. Крім того, зародок містить дуже чутливі до температури водорозчинні білки – альбуміни. При температурі вище 41 – 42 °С білки зародка, наприклад пшениці, денатурують, тобто насіння втрачає схожість. Білки клейковини більш термостійкі, однак температура нагрівання нормальної, міцної і слабкої за пружністю клейковини сильної пшениці не повинна перевищувати відповідно 50, 45 і 55 °С.

Застосовують три способи сушіння зерна: теплове, сорбційне (контактне) та механічне (відтискання у центрифугах). Найчастіше практикують теплове сушіння, рідше – сорбційне, а механічне – лише у мийних машинах на борошномельних підприємствах. Під час теплового сушіння рідина перетворюється на пару, на що витрачається теплова енергія. За сорбційного сушіння волога з зерна може видалятися як у пароподібному, так і в рідкому стані, причому цей процес не пов'язаний із використанням додаткового джерела енергії.

Серед численних способів теплового сушіння, які різняться за способом передачі теплоти зерну, найпоширеніший конвективний. Суть його полягає в тому, що теплота передається конвекцією від теплоносія, який вбирає вологу, і видаляється в атмосферу. За таким принципом працюють шахтні, рециркуляційні, барабанні, конвеєрні, стрічкові та інші типи сушарок.

Зараз підвищуються вимоги до дотримання технологічних параметрів сушіння із одночасною економією енергоносіїв.

Це дослідження, спрямоване на вдосконалення технології сушіння зерна за рахунок підвищення ефективності використання електроенергії.

Об'єктом дослідження є процес сушіння зерна у конвеєрній зерносушарці.

Предметом досліджень є залежності енергозатрат на процес сушіння від режиму і параметрів роботи зерносушарки.

Мета і задачі досліджень. Мета роботи полягає у підвищенні продуктивності роботи конвеєрної зерносушарки та якості вихідної продукції шляхом вдосконалення технологічного процесу сушіння, зокрема покращення температурного режиму сушіння.

Для досягнення цієї мети сформульовані такі задачі:

- дослідження особливостей сучасних систем автоматизації процесів керування температурним режимом сушіння зерна у конвеєрних зерносушарках;
- розробка функціональної схеми системи керування конвеєрною зерносушаркою і алгоритму її роботи;
- розробка і дослідження імітаційної моделі об'єкта автоматизації із використанням програмного пакету MatLAB;
- обґрунтування вибору алгоритму керування, комплексу технічних засобів автоматизації, визначення показників якості роботи системи керування;
- розробка схем системи автоматизації та системи дистанційного керування та контролю сушіння зерна в потоці на основі Scada Trace Mode.

Методи досліджень ґрунтуються на основних положеннях теорії сушіння, тепло- і масопереносу, математичного моделювання з використанням комп'ютерних технологій.

РОЗДІЛ 1

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ СУШІННЯ ЗЕРНА В АГРОПРОМИСЛОВОМУ КОМПЛЕКСІ

1.1. Особливості процесу сушіння зерна

Основним завданням сушки зернових культур є зниження вологості осушеного продукту до значень, при яких зерно можна безпечно закласти на тривале зберігання.

Суть сушки полягає у випаровуванні вологи із зерна, внаслідок чого в ньому збільшується відносний вміст сухої речовини. Необхідною умовою випаровування є різниця в тиску пари: у зерні воно має бути вищим, ніж у навколишньому середовищі. При цьому поверхня зерна висихає, а в середині у нього виникає градієнт вологи, що викликає переміщення її від центру до периферії. Швидкість випаровування залежить від швидкості руху повітря, що омиває зерно. Проте за дуже високої температури теплоносія волога з внутрішніх шарів зерна не встигає просуватися до поверхні, що призводить до спікання оболонки зерна. Тому під час сушки важливо не тільки видаляти вологу з поверхні зерна, але й сприяти рівномірному її підведенню із внутрішніх шарів.

При нагріванні зерна понад допустиму температуру відбувається погіршення його якості, знижується схожість і енергія проростання у насінному зерні, збільшуються кількість тріщин зернобобових культур, рису, зерна та погіршуються хлібопекарські властивості борошна, отриманого з нього.

Посівне зерно неможливо висушити за високих температурах без зниження схожості, тому температура посівного зерна, а також солодового ячменю і борошномельної пшениці під час сушіння не повинна перевищувати 45 °С. Для інших видів зерна температура може бути вищою. Гранична ж температура також залежить і від початкової вологості зерна: чим вища вологість, тим нижчою має бути температура. Тому для сушки насінневого, кормового і борошномельного зерна встановлені різні температурні діапазони сушки.

Для забезпечення якісного протікання сушки процес має бути рівномірним по всьому об'єму зерна, у його масі не повинно бути осередків, де температура значно вища допустимої для конкретного виду зерна.

Необхідна певна енергія на подолання сили зв'язку вологи із сухою речовиною зерна, а також на теплоту пароутворення. Теплова сушка є найбільш ефективним заходом щодо підготовки зерна до зберігання. Теплота, необхідна для перетворення вологи на пар, може бути підведена до зерна різними способами: конвективним, кондуктивним, інфрачервоними променями та іншими способами.

Основним способом сушіння зерна є конвективне, при якому теплота передається до зерна від нагрітого повітря або суміші повітря із продуктами згоряння палива. Підведена теплота витрачається на нагрів зерна, на підігрів вологи до температури випаровування та на перегрів пари, що утворюється. Водяні пари, що виділяються із зерен, поглинаються повітрям і виводяться із зони сушки. При конвективному способі випаровування вологи залежить від здатності теплоносія поглинати вологу, яка, своєю чергою, залежить від температури: з її підвищенням волога збільшується. Отже, щоб підсилити випаровування, треба нарощувати температуру, але слід пам'ятати, що високі температури згубні для зародка зернини. Величина нагріву зерна залежить від температури теплоносія, тривалості дії цієї температури, а також кількості теплоносія та його швидкості. Чим більше теплоносія надходить у сушарку, тим швидше він проходить через міжзернові простори маси зерна, і тим швидше відбувається процес сушки.

При рециркуляційному способі сушіння сире зерно змішують із просушеним і потім направляють у зону нагріву, де температура агента сушки сягає 250–300 °С, а час знаходження зерна в зоні нагріву становить 2–3 секунди. Середня температура суміші досягає гранично допустимої, а вологість сирого зерна знижується на 0,5–1,0%. Нагріте зерно надходить у зону контактного тепловологообміну, де при витримці сирого і рециркулюючого зерна протягом 10–20 хвилин у зерновій суміші відбувається тепловологообмін: сухе зерно

забирає вологу із сирого і віддає йому частину своєї теплоти. Вологість сирого зерна знижується при цьому на 1,5–3,0%, а температура вирівнюється. Разом з охолодженням зерна відбувається самовипарювання вологи на 0,8–1,2%. Рециркуляція просушеного зерна дозволяє понизити середню вологість суміші, підвищити її температуру і забезпечити сушку до необхідної вологості за один прийом.

Оптимальний режим сушки — це такий, коли забезпечується найбільша продуктивність, повне збереження або поліпшення якості зерна при високій продуктивності роботи сушарки. Основними параметрами режиму сушки є: температура теплоносія, що подається у сушильну камеру; температура максимального нагріву зерна в процесі сушки; температура охолодженого зерна; час перебування зерна в нагрітому стані, що відповідає відсоткам знімання вологи. Для оптимізації процесу сушки необхідно враховувати також швидкість руху теплоносія і його відносну вологість, а також початкову вологість зерна.

Режим сушки залежить від роду зерна (насіння різних культур має різну термостійкість). В основі фізичної суті стійкості зерна до підвищених температур відмічено два явища, що діють у протилежних напрямках:

- нагрівання зерна за деяких умов сприяє його термоактивації, що проявляється у підвищенні його енергії проростання і схожості;
- підвищення температури призводить до теплової денатурації білків, зниження їх розчинності і порушення фізіологічних функцій зерна.

Чим вища вологість, тим меншою має бути температура теплоносія і нагріву зерна. Сире і вологе насіння втрачає життєздатність вже при нагріві до 50 °С, при нагріві до 60–65 °С життєздатність сирого зерна втрачається повністю. У міру зниження вологості зерна його термостійкість підвищується. Відмінність у термостійкості сухого і сирого зерна ґрунтується на неоднаковій швидкості теплової денатурації білків, причому з підвищенням вологості на 3–4%, або температури на 10 °С швидкість денатурації білків зерна зростає в 2–4 рази. Тому в умовах, що супроводжуються зниженням вологості (сушки), зерно

може переносити вищі температури нагріву. Крім того, воно легше переносить короткочасний нагрів, протягом якого білки не встигають помітно змінитися. При сушці зерна вологістю вище 17% слід застосовувати ступінчасті режими, при цьому температуру агента сушки на першому ступені знижують на 10 °С, а нагріву зерна на 5 °С. Якщо конструкція зерносушарки не дозволяє використовувати такі режими, то зерно сушать поетапно за 2–3 пропуски.

Витрата палива зерносушарки залежить від кількох чинників: це вплив навколишнього середовища, вид та призначення просушуваного матеріалу, його початкові параметри (вологість, засміченість), якість самого палива.

1.2. Технологічні установки для сушіння зерна

За принципом сушіння зерносушарки діляться на *потоківі* та *циклічні*. В потоківих зерносушарках зерно завантажується, просушується і відвантажується в поточковому режимі, що дозволяє швидко працювати із великими партіями зерна. Це найпродуктивніші сушарки, саме їх в першу чергу використовують на великих елеваторах.

Циклічні зерносушарки працюють в рециркуляційному (циклічному) режимі – зерно подається сюди партіями. Вони досить економні й підходять тільки для невеликих обсягів, оскільки значно поступаються поточковим за продуктивністю: обсяг висушуваного продукту за одну сушку (цикл) обмежений. До того ж, в порційних сушарках не можна організувати систему рекуперації тепла для заощадження палива.

За критерієм мобільності сушарки поділяються на *мобільні* та *стаціонарні*. Мобільні сушарки не потребують фундаменту, можуть переміщатися в різні місця і дозволяють сушити зерно безпосередньо в поле.

Стаціонарні – єдино можливий варіант, якщо ви плануєте працювати зі скільки-небудь пристойними обсягами зерна.

За вектором руху зерна сушарки поділяються на *вертикальні* та *горизонтальні*. У вертикальних зерносушарках продукція переміщається зверху вниз під дією сили тяжіння. Вертикальними, наприклад, є найпопулярніші зараз – шахтні зерносушарки. У горизонтальних зерно

рухається по горизонталі за допомогою спеціального конвеєра. На такому принципі працюють, наприклад, конвеєрні зерносушарки.

За принципом руху повітря зерносушарки діляться на сушарки *поперечного потоку*, сушарки *змішаного потоку*, сушарки *одностороннього потоку* і сушарки *протитоку*. Найбільш поширеними є зерносушарки змішаного потоку і поперечного потоку.

В зерносушарках поперечного потоку зерно просувається зверху вниз між двох перфорованих стінок зерносушарки. Робочий агент подається в середину зерносушарки і проходить назовні через шар зерна і перфорацію, рухаючись поперек потоку зерна.

В зерносушарках змішаного потоку сушильний агент подається із зовнішнього боку зернової колони і проходить через неї за допомогою безлічі повітроводів, розташованих у шаховому порядку. Торці одних повітропроводів закриті з одного боку, а торці інших – з іншого. Завдяки цьому гаряче повітря поширюється крізь зерновий шар рівномірно в різних напрямках.

В зерносушарках протитоку зерно просувається зверху вниз під дією сили тяжіння, а гаряче повітря подається навпаки – знизу вгору (проти вектору руху зерна).

В зерносушарках одностороннього потоку вектори руху робочого агента і зерна збігаються: повітря і зерно просуваються по зерносушарці зверху вниз.

За наявністю або відсутністю системи *рекуперації тепла* (повторного використання тепла). Ця система дозволяє відновлювати тепло з повітря, яке нагрівається в процесі охолодження зерна. Наявність або відсутність такої системи – дуже важливий показник, який варто враховувати при купівлі обладнання. Адже такий енергозберігаючий принцип сушіння значно зменшує витрату палива і підвищується ККД сушарки.

Система рекуперації тепла може працювати тільки в поточних зерносушилках, у яких процеси сушіння і охолодження відбуваються

одночасно.

За типом конструкції сушарки поділяються на типи за конструкцією сушильної камери, яка буває: *барабанною, камерною, шахтною, трубною і конвеєрною.*

Барабанна потокова зерносушарка складається із барабана, топки і охолоджувальної камери. Сушильна камера тут представляє собою порожнистий циліндр, що обертається, всередині якого встановлюють насадку у вигляді лопатей, що сприяють розпушуванню і пересипанню зерна при його транспортуванні уздовж барабана. Як правило, стаціонарні барабанні сушарки забезпечують продуктивність 8 т/год, а пересувні дозволяють просушити до 2,5 т/год.

Найбільш прості по влаштуванню *камерні сушарки*. Є обладнанням періодичної дії, використовуються в невеликих господарствах. Основна їх частина – це прямокутна або кругла камера з похилим або горизонтальним сітчастим днищем. У першому випадку камеру розвантажують самопливом, а в другому – через центральний отвір в днищі спочатку самопливом, а потім за допомогою шнека-підбирача.

Трубні зерносушарки представлені як стаціонарними, так і пересувними установками вертикального або горизонтального типу. Вони складаються з однієї або декількох перфорованих труб, крізь які і відбувається циркуляція теплового агента. Використовуються переважно для вентиляційного сушіння і аерації зернових мас, а пересувні установки такого типу – для усунення самозігрівання зерна на відкритих майданчиках, а також в засіках або складах, які не обладнані стаціонарними вентиляючими пристроями.

Шахтні зерносушарки. У поточній шахтній зерносушарці зерно подається вертикально, обробляється тепловим потоком агента, і після сушіння надходить в спеціальні камери для охолодження. Завдяки вивантажувальному механізму забезпечується рівномірний рух зерна по всій ширині шахти і виключається його травмування під час вивантаження.

Конвеєрні зерносушарки. Серед переваг даного обладнання – досить

дбайливе поводження із зерном (підходять для обробки насіннєвого матеріалу), в них також можна обробляти неочищену продукцію, зерно високої вологості (до 30%) або в невеликій кількості.

В Україні є два виробника конвеєрних зерносушарок: *Alvan Blanch* та *Scolari*. Конвеєрні зерносушарки є найбільш вигідним рішенням для тих, хто має намір отримати висококондиційне зерно, наприклад, посівний матеріал. Такі сушарки відрізняються дбайливим поводженням із зерном та низкою інших переконливих переваг:

1. Вкрай дбайливе поводження із зерном, що добре позначається на органолептичних властивостях зерна;
2. Можливість сушити зерно будь-якої, навіть найвищої вологості;
3. Дуже висока рівномірність кінцевої вологості зерна;
4. Продуктивність від 100 до 700 тонн на добу;
5. На газу, пропані або альтернативних видах палива (дрова, пелета).
6. Для встановлення не потребує фундаментів;
7. У конвеєрних зерносушарок пошкодження зерна в 15 разів менше ніж в інших типах сушарок;
8. Економія 30% палива в процесі роботи. Вбудована система рекуперації тепла забезпечує високий ККД;
9. Захист від загорянь. Неможливість заторів при русі зерна на похилому ложі – запорука пожежної безпеки;
10. Безперервний процес сушіння при чергуванні різних партій і культур.

1.3. Принцип роботи конвеєрних зерносушарок Alvan Blanch

В зерносушарках конвеєрного типу зерно просушується дуже рівномірно. Принцип конвеєра забезпечує однакову контрольовану тривалість просушування всього зерна для будь-яких культур різної вологості. Повне перемішування зерна досягається за рахунок напрямку руху зернового потоку зверху вниз.

У випадках сушіння зернових з особливо високим відсотковим вмістом вологи на сушарках конвеєрного типу досягнуті чудові результати. Протилежність тому – шахтні і модульні сушки.

Зерносушки конвеєрного типу володіють рідкісною можливістю сушити зерно без його попереднього очищення. Це означає, що зерно може бути очищено набагато краще. Використання пропонованої системи зумовлює до дуже хороших показників характеристик зерна.

Сушарки зерна конвеєрного типу особливо ефективні в плані споживання енергії за рахунок повторного використання всього повітря котре пройшло через охолоджуване зерно з охолоджувальної секції.

Таблиця 1.1

Орієнтовне споживання енергії в зернових сушках марки ZS

Для сушіння 1 тонни вологого зерна необхідно:				
Вологість: від – до, %	Випарувати воду, кг	Енергії, МДж	Паливо, м3 газу	Паливо, л, диз. палива
35%- 15%	235	964	28	26
30%- 15%	176	706	21	20
25%- 15%	117	482	14	13
20%- 15%	59	242	7	5,5

При енергомісткості газу 34 МДж/м^3 для випарювання 1 кг води необхідно $3.9 - 4.1 \text{ МДж}$ або $850 - 1100 \text{ ккал}$.

Зернові сушки марки ZS, вироблені в Україні є аналогом сушарок *Alvan Blanch* (Велика Британія). Споживання енергії в зернових сушках марки ZS (табл. 1.1).

У даній магістерській роботі розглядається конвеєрна зерносушарка *Alvan Blanch* (Велика Британія) (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Конвеєрна зерносушарка *Alvan Blanch*

Сушарка *Alvan Blanch* виготовлена у вигляді горизонтального короба, всередині якого знаходяться конвеєрні механізми (рис. 1.2.).

Зерно надходить до герметичного бункера зерносушарки за допомогою активного або пасивного зернотранспортного обладнання. Можливий варіант збільшеного завантажувального бункера із датчиками рівня зерна, які командують роботою завантажувального зернотранспортного обладнання.

Далі зерно надходить на розподільний механізм, який укладає його на верхній конвеєр і рівномірно розподіляє по всій ширині сушарки. При цьому передбачена можливість легкого регулювання глибини шару продукту.

На конвеєрі зерно дбайливо просувається за допомогою системи поперечних перекладин, що рухаються сталевим ланцюгом.

Конвеєр зерносушарки *Alvan Blanch* виконаний із спеціальних жалюзі, крізь які знизу вгору проходить гаряче повітря.

В кінці верхнього конвеєра зерно передається на нижній конвеєр за допомогою механізму, який також забезпечує його повне перемішування, що забезпечує рівномірну кінцеву вологість.



Рис. 1.2. Технологічна схема конвеєрної зерносушарки *Alvan Blanch*
 1 – герметичний бункер; 2 – регулятор глибини потоку; 3 – термостатичний контроль температури; 4 – контроль продукту; 5 – жалюзійні ліжка;
 6 – автоматичний контроль вологості і температури зерна; 7 – тяговий ланцюг;
 8 – холодний вентилятор з глушником; 9 – дверцята доступу;
 10 – регулювання об’єму повітря; 11 – індикатор тиску в камері;
 12 – вентилятор гарячого повітря; 13 – пробник зерна; 14 – автоматичні дизельні, газові пальники або твердопаливні.

Принцип роботи

Зерно надходить в герметичний бункер (завантажувальну камеру) (рис. 1.2.). Існує кілька способів завантаження – завантаження за допомогою сил гравітації, механічне завантаження за допомогою конвеєра або транспортера, або за допомогою подовженої камери завантаження (надходження зерна контролюється датчиками мінімального і максимального рівня рівневими сенсорами).

З завантажувальної камери зерно розподіляється на верхнє ложе через контрольну заслінку, яка дозволяє регулювати глибину потоку зерна. Тягу продукту забезпечує суцільний посилений ланцюг і система поперечних перекладин. У сушарці розташовані два ложе – верхнє і нижнє, які складаються з жалюзійних пластинок, через які з легкістю проникає гаряче повітря з метою звільнити продукт від зайвої вологи. Вологе повітря виходить з сушарки через бічні і задні панелі вихлопу. Гаряче повітря продувається через продукт за допомогою двох відцентрових вентиляторів, які забезпечують також достатню кількість всмоктуваного повітря навколишнього середовища в камеру згоряння. Нагріте повітря проходить через вентилятори і рухається в камеру гарячого повітря. Звідти він проходить через зазори між жалюзійними пластинами ложе. Вирівнюючий канал перенаправляє порцію гарячого повітря в нижній відсік просушування, де також просушується половина нижнього ложе і закінчується цикл просушування. Решта 25% нижнього ложе призначені для охолодження і кінцевої просушки. Повітря навколишнього середовища проходить через один або два (в залежності від моделі сушарки) вентилятора. Холодне повітря продувається через продукт і цим досягається зниження температури продукту. Тепле і сухе повітря з охолоджувальної секції проходить в камеру згоряння через канали рециркуляції. Сухе зерно розвантажується з нижнього ложе в ящик черв'ячного транспортера або ланцюговий і лопатковий конвеєр.

Для нагрівання повітря як сушильного агенту використовуються теплогенератори на твердому паливі (на основі поновлюваних джерел енергії та залишкових продуктів з сільського та лісового господарств).

Австрійський теплогенератор ICS призначений для подачі нагрітого чистого повітря в зерносушарку *Alvan Blanch* .

На рисунку 1.3. зображено теплогенератор ICS із зерносушаркою *Alvan Blanch*. Це дуже вдале поєднання з огляду на те, що дана зерносушарка має відцентровий вентилятор і датчик тиску в камері гарячого повітря. Незважаючи

на те, що ця зерносушарка не вакуумного типу, її особлива конструкція дозволяє легко підключатися до теплогенераторів будь-якого типу.

Теплогенератори ICS оснащені теплообмінниками, щоб подавати в зерно чисте повітря. Продукти згоряння додатково очищаються для збереження навколишнього середовища та виводяться окремо через димохід.

Теплообмінники оснащені вентиляторами, що нагнітають, таким чином, щоб створити невеликий позитивний тиск на вході в зерносушарку.

Паливо, через ряд надійних систем подається до вискоелективної та дуже гнучкої печі з решітками. Димові гази, утворені під час процесу згоряння, контролювано потрапляють в генератор гарячого повітря (димовий газ / повітряний теплообмінник), в якому енергія(тепло) передається на свіже повітря. Завдяки просторовому відокремленню димових газів та свіжого повітря у генераторі гарячого повітря, забезпечується непряме повітряне опалення та утворюється тепле або гаряче повітря без шкідливих речовин.

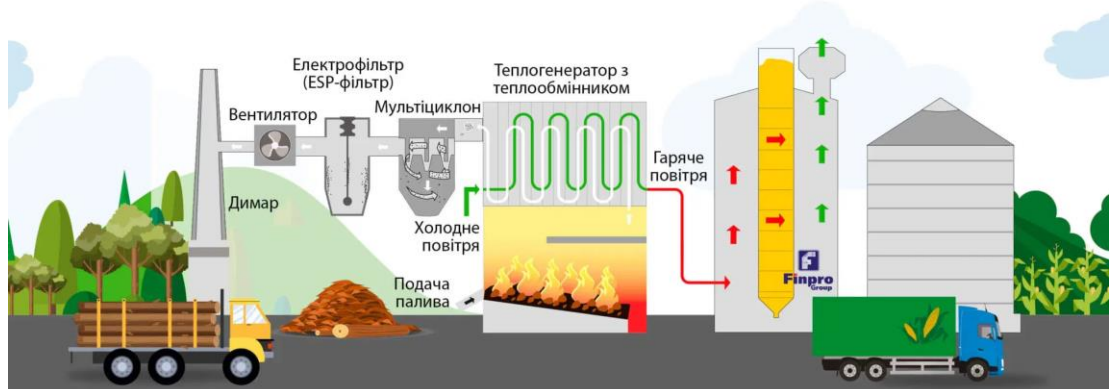


Рис. 1.3. Технологічна схема теплогенератора ICS HotAi Compact з зерносушаркою Alvan Blanch

Потужність теплогенератора може становити до 15 МВт і дозволяє отримувати на виході до 1.000.000 м³ повітря на годину або температуру до 700°С.

Основний параметр сушіння це температура сушильного агента, він тісно пов'язаний з температурою нагріву зерна. При високих температурах руйнуються деякі види протеїну продовольчого зерна, погіршуються хлібопекарські властивості муки. Ступінь термічного пошкодження зерна

залежить від вологи, температури і тривалості впливу сушильного агенту. Треба розрізнити допустиму температуру нагріву зерна і сушильного агенту. Температуру сушильного агенту вимірюють перед входом в шахту та після виходу з неї, внаслідок динаміки процесів сушіння.

Безпечні температури для деякої частин насіння (зерна із різною термічною стійкістю) можуть перевищувати значення температур для термічно менш стійкого насіння, внаслідок чого схожість останніх може суттєво знизитись. При виборі безпечних температур сушіння слід враховувати поправку на менш стійку в термічному відношенні частини зерна.

Виробники зерносушарок рекомендують для своїх зерносушарок значення температур сушильного агента і зерна (табл. 1.2).

Таблиця 1.2.

**Значення температур сушильного агента і зерна
в конвексних зерносушарках**

Зернова культура	Кінцева вологість, %	Темпер. повітря, °С	Темпер. зерна, °С
Пшениця, ячмінь, овес	15-16	125	55-60
	15	85 при поч.волог.<=20%	45
Насіння пшениці, ячменя, вівсу	15	75 при поч.волог.>20%	45
	15	85 при поч.волог.<20%	45
Просо	15	90	45
Ріпак	7-9	80-85 залежно від моделі сушарки	50

1.4. Функціональна схема автоматизації системи керування конвеєрною зерносушаркою Alvan Blanch

Виходячи з технологічних вимог до процесу сушіння зерна в конвеєрній зерносушарці необхідно забезпечити контроль та керування наступними параметрами:

- рівень зерна у герметичному бункері (для забезпечення рівномірного стабільного завантаження зерна, запобігання пересипання зерна або роботи сушарки при недовантаженій шахті);
- температура та вологість зерна, що подається у герметичний бункер;
- температуру агента сушіння (запобігання роботи конвеєра "в холосту": прогону зернової маси без агенту сушіння, або при відхиленні роботи теплогенератора від номінального режиму);
- температуру зерна в зоні сушіння (для запобігання його перегріву);
- температуру і вологість зерна на виході з сушарки (вологість на виході як кінцевий результат сушіння; температура зерна – контроль системи охолодження зерна);
- керування розвантажувальним шнеком, чим власне і регулюється час знаходження зернової маси у конвеєрній сушарці.

Функціональна схема автоматизації системи керування конвеєрною зерносушаркою (додаток В).

LE (1-1), LE (1-2) відповідно датчики верхнього та нижнього рівня зерна у герметичному бункері; TE (1-3), ME (1-4) – відповідно датчик температури та датчик вологості зерна у герметичному бункері; TE (1-5) – датчик температури агенту сушіння; TE (1-6) – датчик температури зерна TE (1-6) у зоні сушіння; TE (1-7), ME (1-8) – відповідно датчик температури та вологості на виході з зерносушарки; BM1 – електродвигун приводу відцентрового вентилятора подачі агенту сушіння в зерносушарку; BM2 – електродвигун приводу відцентрового вентилятора подачі зовнішнього повітря у зону охолодження зерна, BM3 – електродвигун приводу розвантажувального шнеку, швидкість обертання валу якого регулюється перетворювачем частоти ПЧ1 SIC (1-14) (таким чином здійснюється керування тривалістю знаходження зерна у сушильній зоні – експозицією сушіння); BM4 – електродвигун приводу вивантажувального шнеку.

В якості пристрою керування використовується програмно-логічний контролер Schneider Electric, який може бути складовою частиною SCADA TRACE MODE.

TRACE MODE – програмний комплекс класу SCADA HMI, призначений для розробки програмного забезпечення АСУТП. Така система дає можливість візуалізувати та оперативно відслідковувати технологічний процес та керувати ним.

Структура керування процесом сушіння зерна у конвеєрній зерносушарці (рис. 1.4).

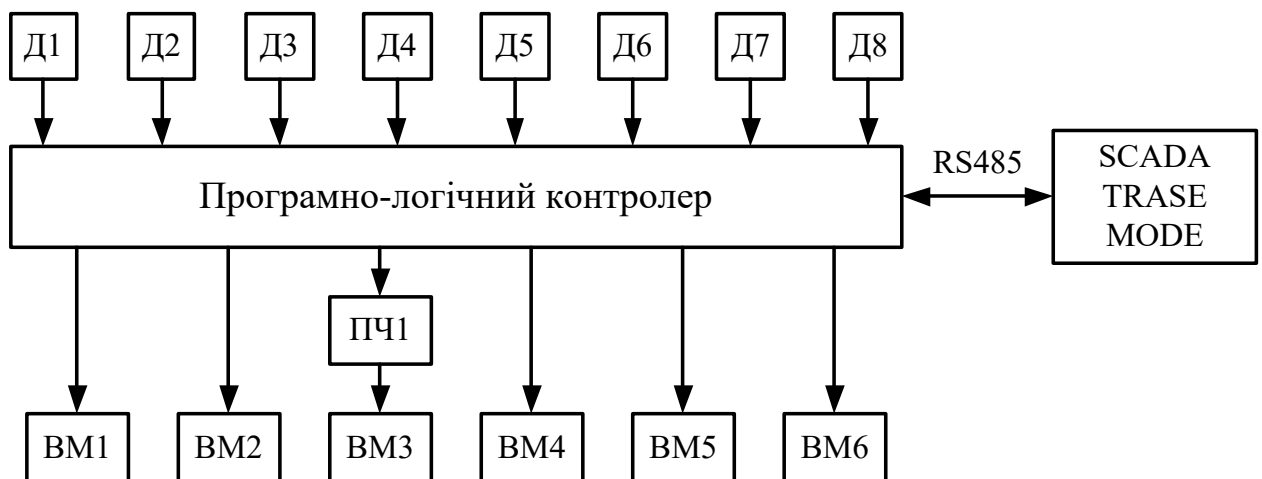


Рис. 1.4. Структурна схема комп'ютерно-інтегрованої САК конвеєрною зерносушаркою

На рис. 1.4 прийняті наступні позначення, що відповідають функціональній схемі автоматизації: Д1, Д2 – датчики верхнього та нижнього рівня зерна у герметичному бункері; Д3, Д4 – датчик температури та датчик вологості зерна у герметичному бункері; Д5 – датчик температури агенту сушіння; Д6 – датчик температури зерна у зоні сушіння; Д7, Д8 – датчик температури та вологості на виході з зерносушарки; ВМ1 – електродвигун приводу відцентрового вентилятора подачі агенту сушіння в зерносушарку; ВМ2 – електродвигун приводу відцентрового вентилятора подачі зовнішнього повітря у зону охолодження зерна, і після зони охолодження частково нагрітого

повітря у зону сушіння; ВМ3 – електродвигун приводу розвантажувального шнеку, швидкість обертання валу якого регулюється перетворювачем частоти ПЧ1 (таким чином здійснюється керування тривалістю знаходження зерна у сушильній шахті – експозицією сушіння); ВМ4 – електродвигун приводу завантажувальної норії, що здійснює подачу зерна у герметичний бункер; ВМ5, ВМ6 – електродвигуни приводу вентиляторів теплообмінників, що нагнітають, таким чином, щоб створити невеликий позитивний тиск на вході в зерносушарку.

Алгоритм функціонування системи керування наступний.

1. Здійснюється запуск виконання програми керування у програмно-логічному контролері (ПЛК).

2. Починається вентиляювання камери атмосферним повітрям: вмикаються електродвигуни приводу відцентрових вентиляторів М1 (подача агента сушіння) та М2 (подача повітря в зону охолодження зерна). Тривалість вентиляювання – 10хв.

3. Після закінчення вентиляювання відповідним контактом ПЛК вмикається електродвигун М4 приводу норії завантаження зерна в герметичний бункер. При досягненні зерновою масою верхнього рівня спрацювання датчика верхнього рівня зерна вмикає подачу зерна в зону сушіння.

4. Одночасно із завантажувальною норією вмикається теплогенератор нагріву повітря, і агент сушіння подається у зону нагріву та зону сушіння.

5. Через 30 хв. вмикається електродвигун М3 приводу розвантажувального шнеку, який подає сухе зерно з нижнього ложа в ящик черв'ячного транспортера або ланцюговий і лопатковий конвеєр.

6. Значення температури та вологості зерна і сушильного агента отримується ПЛК від датчиків температури та вологості, встановлених у відповідних зонах сушарки.

Експозиція (тривалість) сушіння регулюється швидкістю його вивантаження з сушарки (чим швидше зерно вивантажується, тим меншим є

тривалість його перебування в секціях камери сушіння). Це здійснюється за допомогою частотного перетворювача, який змінює швидкість обертання валу приводного електродвигуна М3.

7. Після закінчення сушіння зупиняються електродвигуни М1, М2 та М3 приводу відповідно відцентрових вентиляторів та вивантажувального шнеку, вимикається теплогенератор.

Повний цикл сушіння завершений.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

2.1. Розробка математичної моделі об'єкта автоматизації

На першому етапі сушіння випаровується волога з вільної поверхні, а на другому етапі видаляється зв'язана волога. Тиск водяної пари на поверхні матеріалу стає функцією від температури матеріалу і його вологості на поверхні.

Рівняння залежності тиску насиченої водяної пари від температури, мм. рт. ст. (по табличних даних):

$$P_{нас} = 5.343124 + 0.027872 \cdot t + 0.032135 \cdot t^2 - 3.40325 \cdot 10^{-4} \cdot t^3 + 7.719212 \cdot 10^{-6} \cdot t^4 \quad (2.1)$$

Вологовміст пароводяної суміші (кг водяної пари/кг сухого повітря):

$$dn = 0.622 \cdot \frac{\varphi \cdot P_{нас}}{Pb - \varphi \cdot P_{нас}}, \quad (2.2)$$

де: 0,622 – відношення мольних мас водяної пари і повітря;

φ – відносна вологість повітря;

Pb – загальний (барометричний) тиск парогазової суміші.

Розглянемо процес сушіння зерна в статичному режимі у вигляді матеріальних і енергетичних балансів. Математична модель сушіння показана на рис. 2.1 .

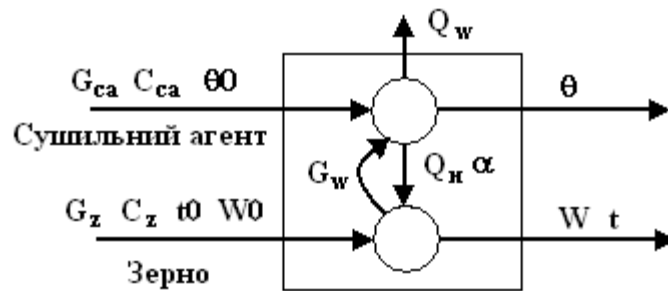


Рис. 2.1. Структурна схема процесу сушіння зерна

Параметри:

G_{ca} , G_z – витрати сушильного агента і зерна,

C_{ca} , C_z – теплоємність сухого повітря і зерна,

t_0 і θ_0 – початкові значення температури зерна і сушильного агента,

t і θ – температури зерна і сушильного агента на виході сушарки,

W_0 і W – початковий і кінцевий вологовміст зерна,

G_w – випарена волога із зерна,

Q_n і Q_w – витрати тепла на нагрівання зерна і випарювання вологи,

α – коефіцієнт тепловіддачі від повітря до зерна.

Рівняння енергетичних балансів по сушильному агенту, гарячому повітрю і зерну. Тепло нагрітого повітря витрачається на підігрівання зерна і випарювання вологи з нього:

$$\begin{aligned} G_{ca} \cdot C_{ca} - Q_w - Q_n - Q_{ca\text{вих}} &= 0 \\ G_z \cdot C_z + Q_n - Q_{z\text{вих}} &= 0 \end{aligned} \quad (2.3)$$

Матеріальний баланс по зерну:

$$G_z - G_w - G_{z\text{вих}} = 0 \quad (2.4)$$

де: $Q_{ca\text{вих}}$, $Q_{z\text{вих}}$, $G_{z\text{вих}}$ – витрати тепла сушильного агента, зерна, маса зерна на виході із сушарки.

Сушіння зерна пов'язане з переміщенням вологи всередині матеріалу. Рухійною силою сушіння є різниця між вологовмістом зерна W і рівноважним вологовмістом W_p .

Швидкість сушіння тоді матиме вигляд:

$$-\frac{dW}{d\tau} = K(W - W_p) \quad (2.5)$$

де K – коефіцієнт сушіння, який характеризує інтенсивність процесу вологообміну.

Коефіцієнт сушіння K знаходимо експериментально. Якщо швидкість сушіння представити прямою, то коефіцієнт сушіння буде рахуватися так:

$$K = \frac{1}{R} \cdot \frac{1}{\frac{1}{\beta} + \frac{4 \cdot R}{\pi^2 a_m}} \quad (2.6)$$

де: R – геометричний розмір зернини, яке висушуємо, м;

β – коефіцієнт зовнішнього вологообміну, м/с.;

a_m – коефіцієнт потенціалопровідності масопереносу, м²/с.

Коефіцієнт потенціалопровідності масопереносу залежить від форм зв'язку води з матеріалом і температури матеріалу і визначає внутрішній перенос води.

Допускаємо:

- процес нагрівання зернин безградієнтний,
- вологість по об'єму рівномірна,
- втрат в навколишнє середовище немає.

Складемо рівняння теплового балансу для визначення зв'язку між нагріванням і швидкістю сушіння.

Рівняння, де температура і вологовміст змінюється в часі (періодичний процес сушіння):

$$\frac{d\bar{\theta}}{d\tau} G'c - \frac{d\bar{W}}{d\tau} rG'_0 = \alpha \cdot F(t - \bar{\theta}) \quad (2.7)$$

Рівняння, де температура і вологовміст зерна змінюється по довжині сушильної камери (безперервний процес):

$$\frac{d\bar{\theta}}{dx} G \cdot c - \frac{d\bar{W}}{dx} rG_0 = \alpha \cdot F(t - \bar{\theta}) \quad (2.8)$$

де $\bar{\theta}$ – середня температура матеріалу;

\bar{W} – середній вологовміст матеріалу;

c – питома теплоємність матеріалу;

r – теплота пароутворення;

t – температура сушильного агенту;

G і G_0 – витрати вологого і сухого матеріалу;

α – коефіцієнт теплообміну;

F – площа поверхні матеріалу;

τ – час;

x – координата (у напрямку руху зерна).

Розглянемо процес сушіння в конвеєрній сушарці безперервної дії.

Спрощення для математичної моделі сушарки:

- не враховано етап нагрівання зерна,
- коефіцієнт тепловіддачі від сушильного агенту до зерна – величина постійна.

Значення змінних в рівняннях для визначення коефіцієнту сушіння K та рівноважного вологовмісту Wp (використані по даних вчених).

Рівняння рівноважного вологовмісту, в частках до вмісту сухих речовин:

$$Wp = 0.01 \cdot \left[\frac{|\ln(1 - \varphi)|}{5.47 \cdot 10^{-6} \cdot (t + 273)} \right]^{0.435} \quad (2.9)$$

Значення відносної вологості повітря знаходимо з рівняння:

$$\varphi = \frac{(Pb - P_{нас}) \cdot dn}{0,0622 \cdot P_{нас}} \quad (2.10)$$

Коефіцієнт сушіння, 1/с, знаходимо з рівняння:

$$K = \frac{5.55 \cdot 10^{-4} \cdot t^2 - 0.00796 \cdot t}{3600} \quad (2.11)$$

Складемо систему диференціальних рівнянь по температурі зерна, сушильного агенту (повітря) в град С і вмісту вологи у зерні, в частках:

$$\frac{dt}{d\tau} = \frac{G_z \cdot \sigma \cdot \alpha}{G_{ca} \cdot C_{ca}} \cdot (\theta - t) \quad (2.12)$$

$$\frac{d\theta}{d\tau} = \frac{\sigma \cdot \alpha}{C_{ca}} \cdot (t - \theta) + \frac{r \cdot 10^{-2}}{C_z \cdot (1 + 0,2\%)} \cdot \frac{d0,2\%}{d} \quad (2.13)$$

$$\frac{dW}{d\tau} = -K \cdot (W - W_p) \quad (2.13)$$

де σ – питома поверхня зерна $\text{м}^2/\text{кг}$;

α – коефіцієнт тепловіддачі від повітря до зерна, $\text{Вт}/\text{м}^2 \text{град}$;

r – теплота пароутворення, $\text{Дж}/\text{кг}$.

2.2. Розробка та дослідження імітаційної моделі об'єкта автоматизації із використанням математичних пакетів MATLAB та MathCad

Вихідні дані для імітаційного моделювання процесу сушіння:

- витрати зерна на сушіння складають $G_z = 2,1 \text{ кг/с}$;
- температура зерна $t_0 = 23 \text{ }^\circ\text{C}$;
- теплоємність зерна $C_z = 2300 \text{ Дж}/(\text{кг } ^\circ\text{C})$;
- початковий вологовміст $W_0 = 0,175$.

Сушильний агент, гаряче повітря, подається в кількості $G_{ca} = 1,5 \text{ кг/с}$ з температурою $\theta_0 = 70 \text{ }^\circ\text{C}$, і теплоємністю $C_{ca} = 1150 \text{ Дж}/(\text{кг } ^\circ\text{C})$.

Прийнято, що питома поверхня зерна $\sigma = 2,47 \text{ м}^2/\text{кг}$ [10];

- вологовміст пароводяної суміші в сушарці $dn = 0,006 \text{ кг пари/кг сухого повітря}$,

- теплота пароутворення $r = 2500 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}$;
- барометричний тиск $P_b = 750 \text{ мм рт. ст.}$;
- коефіцієнт тепловіддачі від повітря до зерна $\alpha = 15,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$.

Розробимо модель в середовищі Simulink MATLAB. Розіб'ємо модель на дві частини. В основній частині (рис. 2.2.) розмістимо рівняння, які представляють із себе систему диференційних рівнянь і розраховують температуру зерна, температуру повітря і вологовміст зерна.

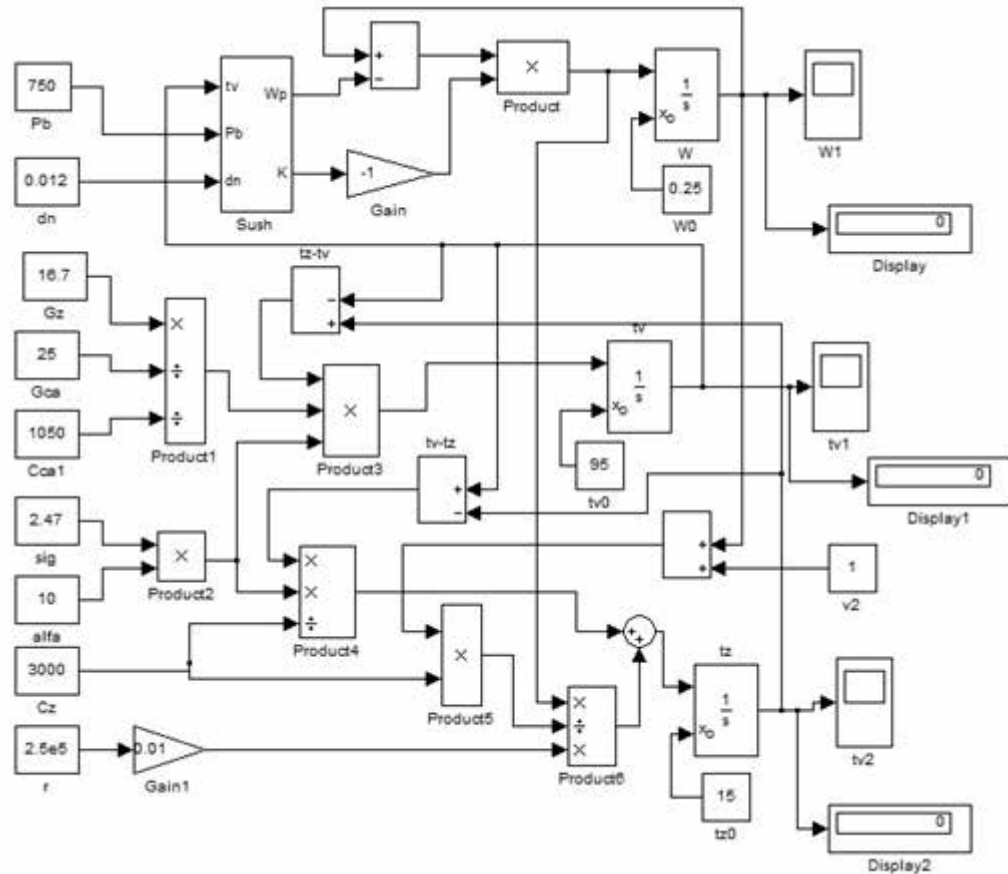


Рис. 2.2. Схема імітаційної моделі сушарки у середовищі Simulink MATLAB

Створимо підсистему для допоміжних рівнянь, які рахують тиск насиченої водяної пари, відносну вологість повітря, рівноважний вологовміст і коефіцієнт сушіння (рис. 2.3.).

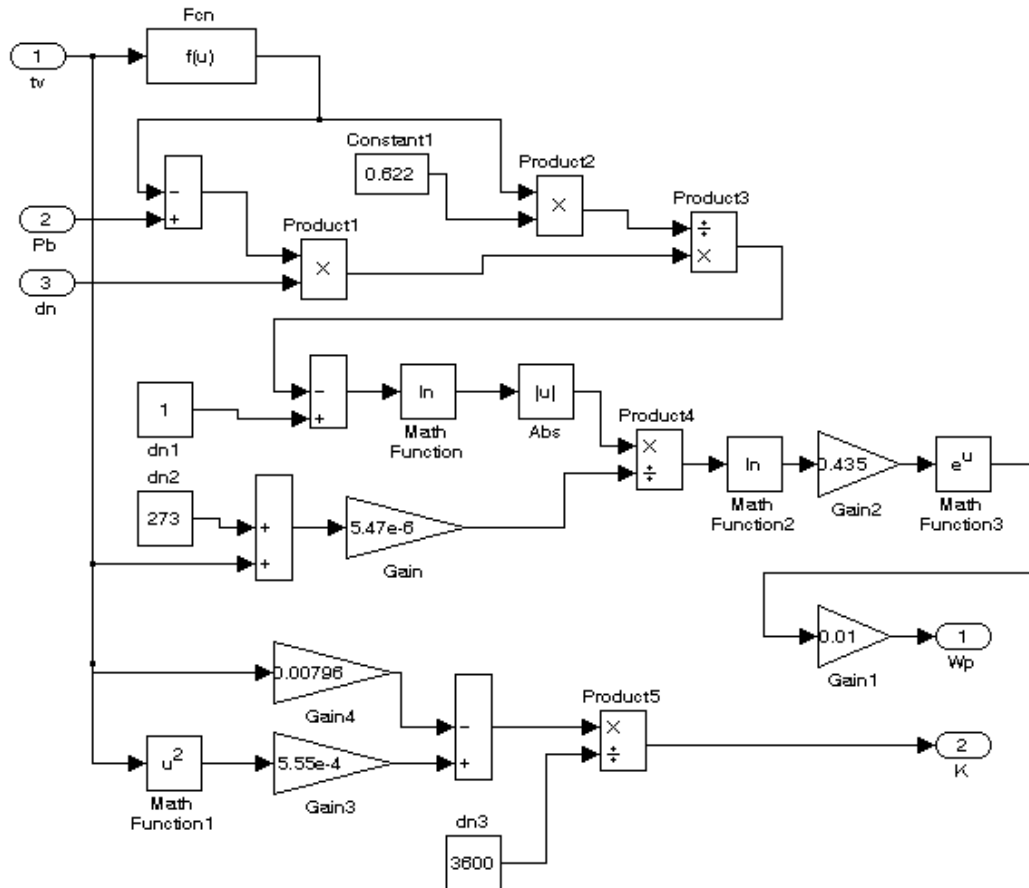


Рис. 2.3. Імітаційна модель підсистеми моделі сушарки в середовищі Matlab Simulink

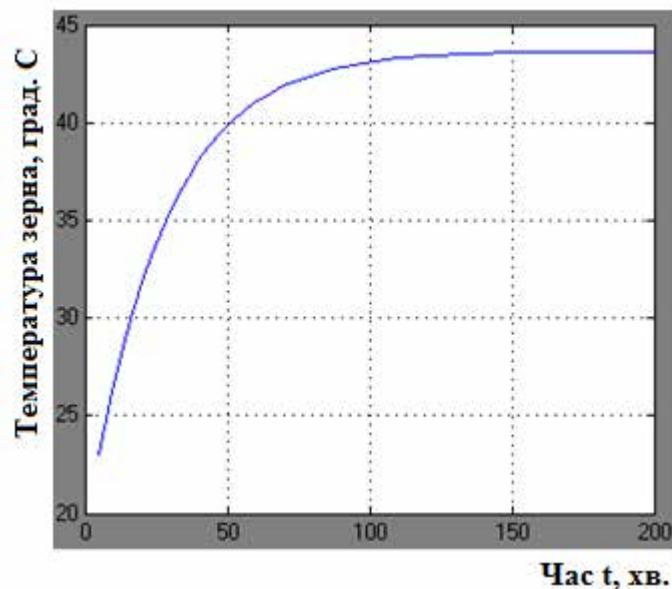


Рис. 2.4. Зміна температури зерна під час сушіння

Отримаємо розгінні криві температур зерна (рис. 2.4), сушильного агенту під час сушіння (рис. 2.5), криву зміни вологовмісту зерна (рис. 2.6).

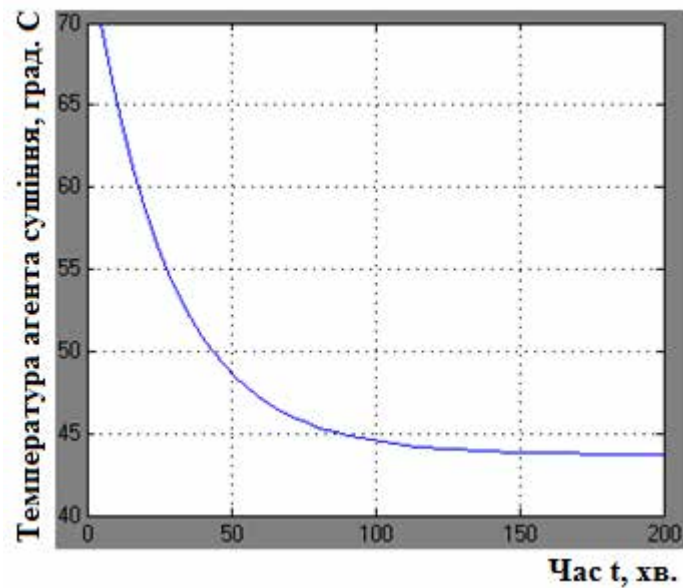


Рис. 2.5. Зміна температури агента сушіння

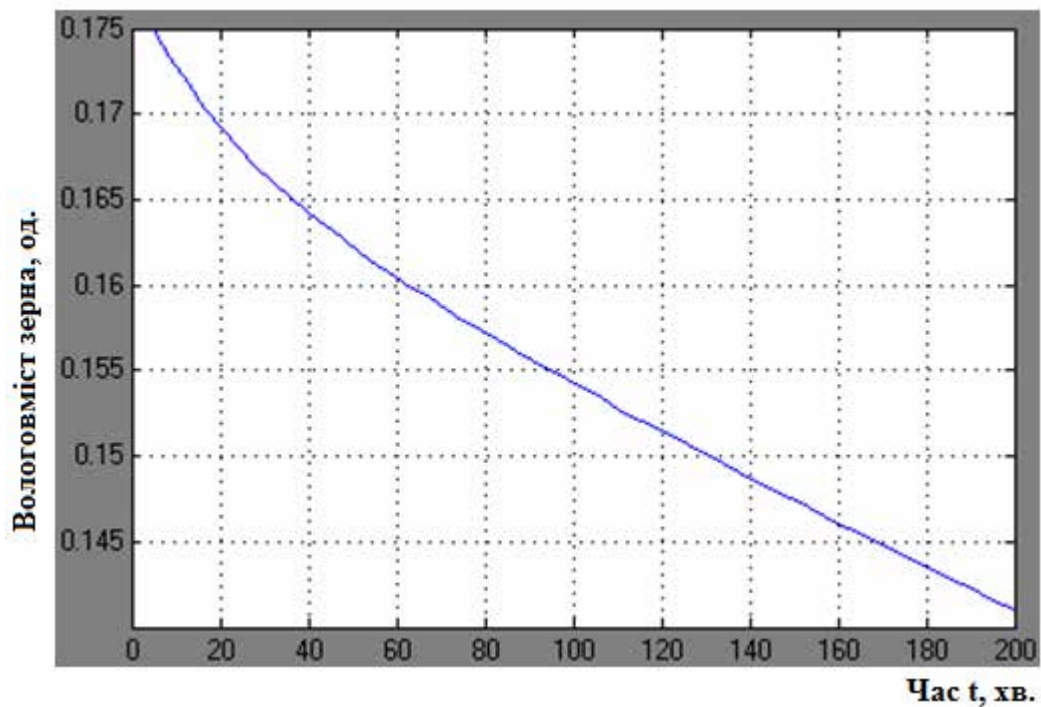


Рис. 2.6. Зміна вологовмісту зерна під час його сушіння

Дослідимо вплив витрат вологого зерна на температуру сушильного агента, вологовміст на виході при постійному початковому вологовмісті $W_0=0,175$ та зміну температури сушильного агента під час сушіння при постійній витраті вологого зерна $G_z = 2,1$ кг/с.

Температура сушильного агента змінюватиметься у межах від 50°C до 83°C .

Дані для побудови графіків отримані за допомогою імітаційної моделі (блоки Display, Display1, Display2) (рис. 2.2).

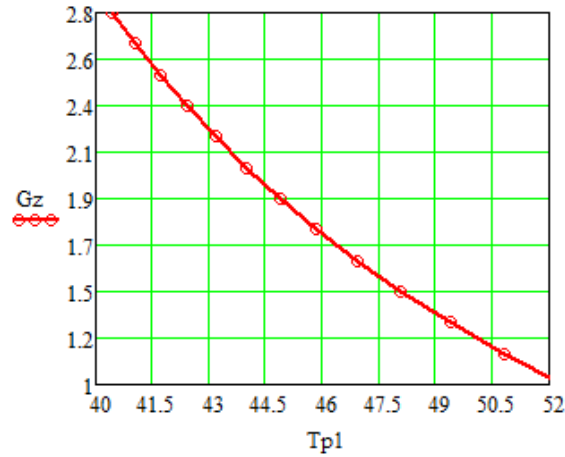


Рис. 2.7. Вплив витрат вологого зерна на температуру сушильного агента

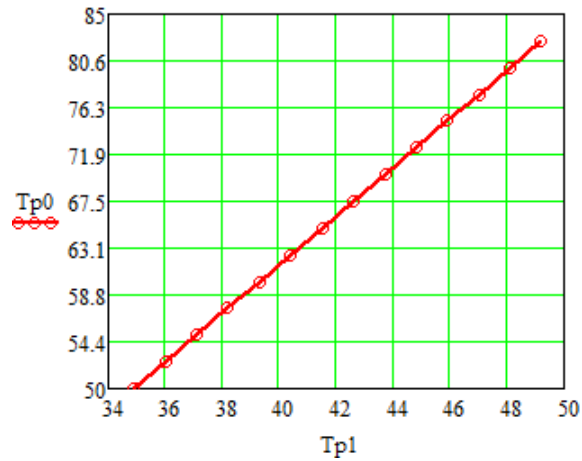


Рис. 2.8. Зміна температури сушильного агента під час сушіння при постійній витраті вологого зерна $G_z = 2,1$ кг/с

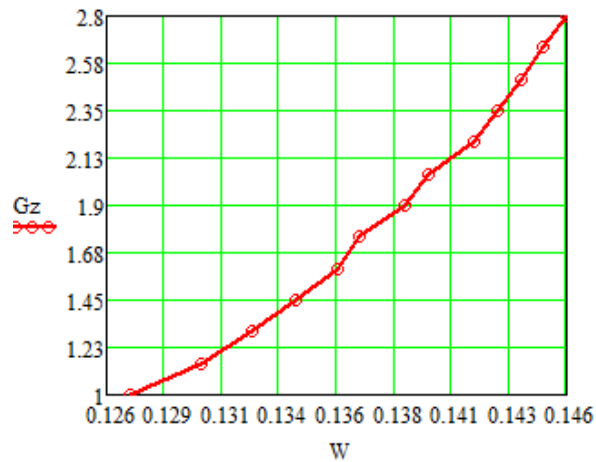


Рис. 2.9. Вплив витрат вологого зерна на вологовміст на виході при постійному початковому вологовмісті $W_0 = 0,175$

При доведенні температури зерна від 15°C до граничного допустимого значення 54°C (при граничному значенні 55...60) зміна температури зерна і агента сушіння виглядають наступним чином (рис. 2.10).

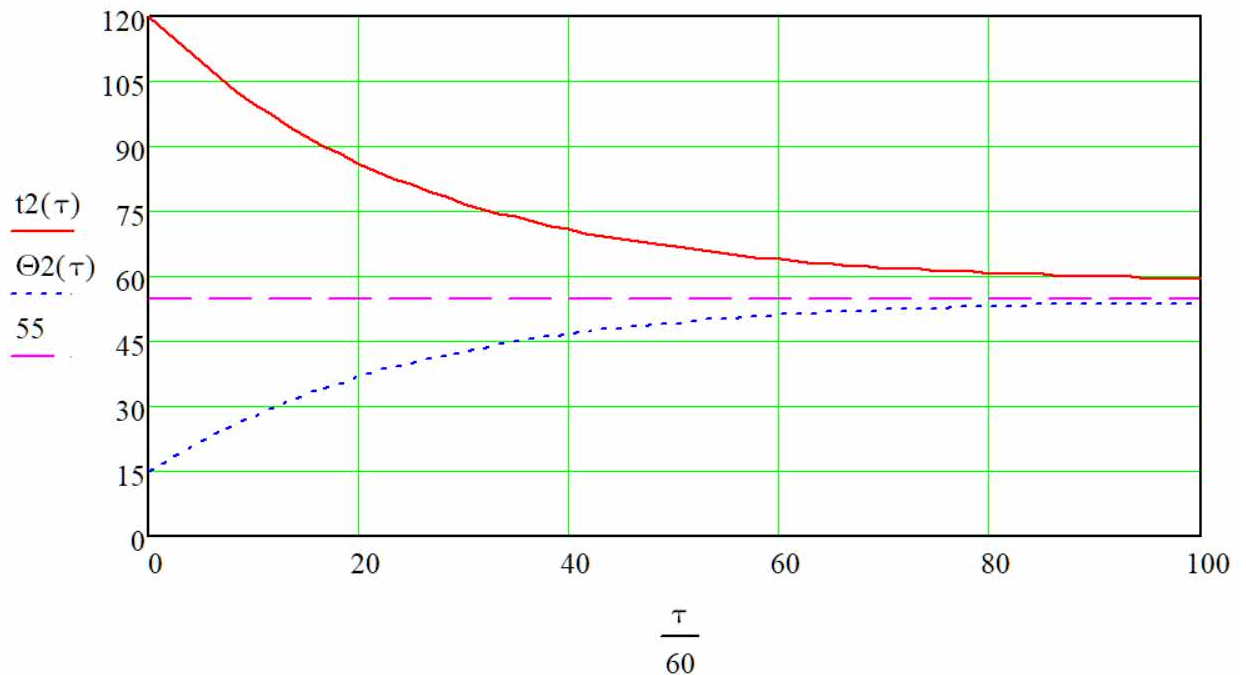


Рис. 2.10. Зміна температури агента сушіння у конвеєрній зерносушарці при нагріванні зерна від 15°C до 54°C

При збільшенні витрат вологого зерна температура сушильного агента знижується, при цьому вологовміст на виході буде збільшуватись (рис. 2.7). Можемо керуватися цими параметрами для підтримання необхідної температури сушіння і вологовмісту на виході, оскільки для зерна пшениці, початковий вологовміст якої становить 17,5% ($W_0 = 0,175$), початкова температура зерна 23°C, щоб забезпечити необхідну вологість на виході, а саме 14%, потрібно встановити витрату зерна на виході з зони сушіння на рівні $G_z = 2,1$ кг/с. Обмежимося допустимою для даної культури температурою теплоносія на рівні 70°C. В результаті матимемо вологовміст зерна на виході $W_0 = 0,141$, при цьому нагрівання зерна буде знаходитись у межах допустимої норми $T_z = 43,4^\circ\text{C}$.

2.3. Визначення передатної функції конвеєрної зерносушарки для каналу керування температурою зерна

Для визначення динамічних характеристик конвеєрної зерносушарки як об'єкта управління була використана його розгінна характеристика, яка представляє собою залежність температури зернової маси від часу, при ступінчастій зміні керуючої дії: зменшенні експозиції (тривалості) сушіння за рахунок збільшення витрати зерна на виході з сушарки. Розгінна характеристика побудована за даними (рис. 2.10). При цьому час із хвилин переведено у секунди.

Для визначення передатної функції конвеєрної зерносушарки для каналу керування був використаний графічний метод.

Для цього розгінна характеристика була пронормована за виразом

$$y^0(t_i) = \frac{y(t_i) - y(t_0)}{y(\infty) - y(t_0)} = \frac{y(t_i) - 15}{54 - 15} \quad (2.14)$$

Результати розрахунку занесені в таблицю (Додаток А), нормована розгінна характеристика конвеєрної зерносушарки для каналу керування зображена на рис. 2.11.

Для статичних об'єктів передатна функція, отримана за кривою розгону, представляється у вигляді інерційної ланки із запізненням

$$W(s) = \frac{k_{OY} \cdot e^{-\tau_{OY} \cdot s}}{T_{OY} \cdot s + 1}, \quad (2.15)$$

де k_{OY} - коефіцієнт передачі об'єкта;

T_{OY} - постійна часу об'єкта, що характеризує його інерційність, с;

τ_{OY} - час чистого запізнення, с.

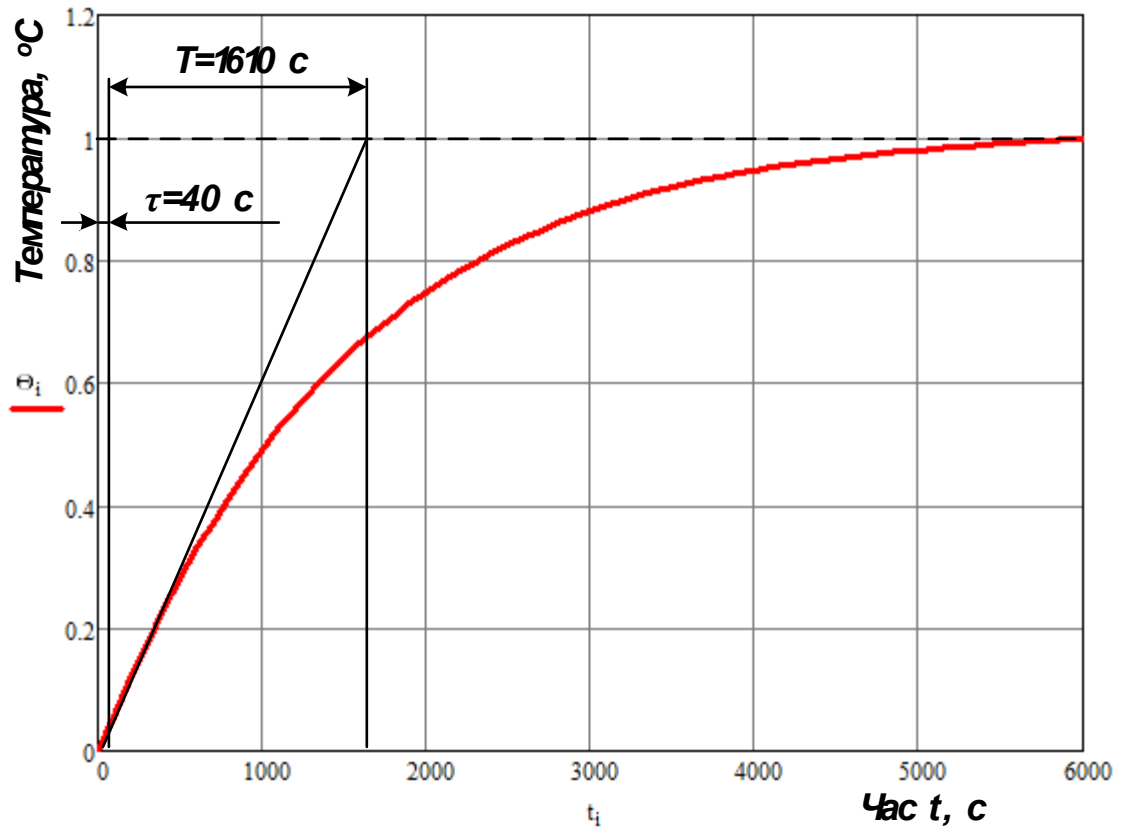


Рис. 2.11. Нормована розгінна характеристика конвеєрної зерносушарки для каналу керування температурою сушіння зерна

Чисельне значення постійної часу T_{ov} та часу запізнення τ_{ov} об'єкта знаходять за допомогою дотичної, яку проводять до точки перегину розгінної характеристики (рис. 2.11). Точка перегину відповідає середині відрізка часу, на якому спостерігається максимальний приріст ординати кривої розгону.

Коефіцієнт передачі об'єкта керування визначаємо за формулою

$$k_{ov} = \frac{T_K - T_{\Pi}}{L_K - L_{\Pi}}, \quad (2.16)$$

де T_K та T_{Π} – відповідно кінцева та початкова температура повітря зерна при сушінні у конвеєрній зерносушарці, °С;

L_K та L_{Π} – відповідно кінцеве та початкове відносне значення продуктивності системи розвантаження конвеєрної зерносушарки, %.

$$T_K = 54^{\circ}\text{C}, T_{\Pi} = 15^{\circ}\text{C}; \quad L_K = 100\%, L_{\Pi} = 0\%.$$

$$k_{ov} = \frac{54 - 15}{100 - 0} = \frac{39}{100} = 0,39 \left[\frac{^{\circ}\text{C}}{\% \text{ продуктивн.}} \right]$$

Значення постійної часу та часу чистого запізнення визначені з нормованої розгінної характеристики. Час чистого запізнення визначається часом, що необхідний на проходження повітря повітропроводом конвеєрної зерносушарки та початку сушіння.

$$T_{ov} = 1610 \text{ с}, \quad \tau_{ov} = 40 \text{ с}.$$

Отримаємо передатну функцію сушарки для каналу керування температурою сушіння

$$W_{ov}(s) = \frac{0,39 \cdot e^{-40 \cdot s}}{1610 \cdot s + 1}.$$

РОЗДІЛ 3

ВИБІР РЕГУЛЯТОРА ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЙОГО НАЛАШТУВАНЬ

3.1. Вибір алгоритму керування та визначення параметрів настройки регулятора

САК складається з регулятора та об'єкта керування.

Критерієм для вибору алгоритму керування служить значення відношення часу чистого запізнення об'єкта до його постійної часу, тобто $\frac{\tau_{ov}}{T_{ov}}$

- якщо $\frac{\tau_{ov}}{T_{ov}} < 0,2$, перевагу віддають позиційному (релейному)

алгоритму керування, але можливе використання і неперервного алгоритму.

- якщо $0,2 < \frac{\tau_{ov}}{T_{ov}} < 1,0$, перевагу віддають неперервному або

цифровому алгоритму керування (П-, ПІ- або ПІД-алгоритм керування)

- якщо $\frac{\tau_{ov}}{T_{ov}} > 1,0$, вибирають спеціальний цифровий регулятор з

екстраполятором, який компенсує запізнювання в контурі керування.

Передатна функція для статичного ОК представлена у вигляді виразу (2.15).

Для обґрунтування алгоритму керування і вибору регулятора, який відповідає цьому алгоритму, необхідно врахувати вимоги до технологічного процесу та конструктивні особливості самих регуляторів. Промислові регулятори реалізують алгоритм керування з певною похибкою, що потрібно враховувати при виборі технічних засобів, що входять до складу САК.

Передатна функція конвесерної зерносушарки для каналу керування температурою сушіння $W_{ov}(s) = \frac{0,39 \cdot e^{-40 \cdot s}}{1610 \cdot s + 1}$, відношення $\frac{\tau_{ov}}{T_{ov}} = \frac{40}{1610} = 0,025$, тому

за вказаною методикою необхідно використати позиційний алгоритм керування.

Але необхідно врахувати наступні технологічні умови:

- недопустимість перегрівання зерна при сушінні;
- згідно із розробленою функціональною схемою автоматизації

системи керування конвеєрною зерносушаркою, температура сушіння зерна визначається експозицією сушіння: зерно неперервно рухається по конвеєру камери сушіння, і швидкість руху зернового потоку визначається швидкістю роботи розвантажувального шнеку, швидкість роботи якого, в свою чергу, керує частотний перетворювач, який змінює швидкість обертання вихідного валу електродвигуна приводу вказаного шнеку. Тобто рух зернової маси є неперервним.

Як відомо, частотні перетворювачі змінюють частоту обертання валу електродвигуна плавно. Характерною особливістю частотних перетворювачів є їх робота за ПД-алгоритмом керування.

Отже за технологічними вимогами та особливостями обладнання системи керування прийнятий неперервний ПД-алгоритм керування без проведення додаткових розрахунків динамічного коефіцієнта регулювання за методикою.

3.2. Реалізація алгоритму керування

Згідно з функціональною схемою автоматизації система керування складається з:

- ПЛК, який отримує інформацію від датчиків рівня зерна у герметичному бункері, датчиків температури та вологості у зонах конвеєрної зерносушарки і формує сигнали керування виконавчими механізмами (частотним перетворювачем та електродвигунами);

- двох модулів розширення аналогових входів для підключення до ПЛК аналогових датчиків температури та вологості;

- перетворювача частоти, який за ПД-алгоритмом здійснює безпосереднє керування швидкістю обертання валу електродвигуна приводу вивантажувального шнеку, чим регулюється експозиція сушіння зерна (час проходження зернової маси через зони сушарки);
- електрообладнання для керування відповідними електродвигунами (електродвигунів приводу відцентрових вентиляторів подачі агента сушіння у зону сушіння, подачі повітря у зону охолодження зерна, електродвигунів транспортера).

3.2.1. Вибір програмно-логічного контролера та модулів розширення підключення датчиків температури та вологості

Для керування частотним перетворювачем та електродвигуном вивантажувального шнека, обраний ПЛК MODICON TM238LFDC24DT Schneider Electric (рис. 3.1).

Розроблений компанією Schneider Electric логічний контролер Modicon M238 має широкий діапазон функцій. Цей контролер підходить для вирішення задач автоматичного керування середнього ступеня складності.

Логічний контролер Modicon M238 підтримується та програмується програмним забезпеченням для програмування SoMachine, яке надає такі мови програмування згідно стандарту MEK 61131-3:

1. Instruction List (IL), мова списку інструкцій;
2. Structured Text (ST), мова структурованого тексту;
3. Функціональний блок Diagram (FBD), мова функціональних блокових схем;
4. Sequential Function Chart (SFC), мова послідовних функціональних блоків;
5. Ladder Diagram (LD), мова багатоступінчастих схем;
6. Continuous Function Chart (CFC), мова безперервних функціональних блоків.

Логічний контролер Modicon M238 може керувати максимум сімома завданнями (одне головне завдання (MAST) та до шести інших завдань).

Живлення контролера Modicon M238 може бути наступним:

1. 24 за постійним струмом;
2. 100...240 В за змінним струмом.

Контролер Modicon M238 з живленням постійним струмом має такі характеристики:

1. 14 дискретних входів, у т.ч. 8 швидкодіючих;
2. 10 дискретних виходів, у т.ч. 4 швидкодіючі;

3. Пам'ять вбудована 1000 кБ;
4. Напруга живлення датчиків 19,2...30,0В;
5. Час відклику 300нс (швидкодіючий вхід
Змс звичайний вхід);
6. Швидкість передачі даних: (50 Кбіт/с (1000 м), 125 Кбіт/с (500 м), 250 Кбіт/с (250 м), 425 Кбіт/с (125 м, 800 Кбіт/ (50 м), 1000 Кбіт/с (20 м).

Контролер Modicon M238 з живленням змінним струмом має такі характеристики:

1. 14 дискретних входів, у т.ч. 8 швидкодіючих;
2. 10 дискретних виходів, у т.ч. 6 релейних.

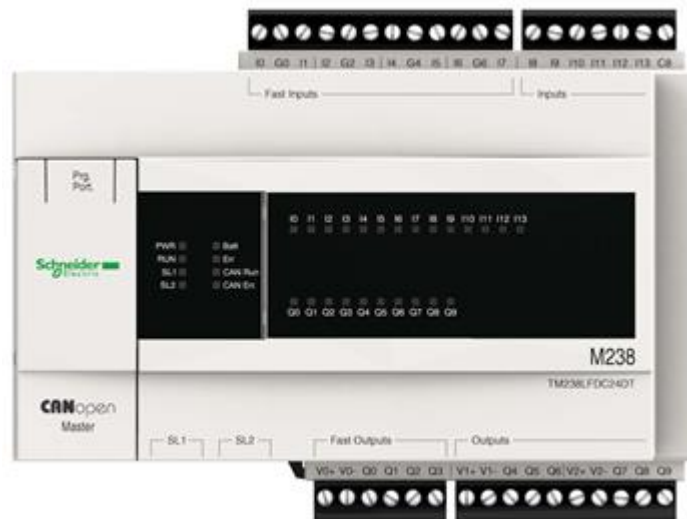


Рис. 3.1. Програмно-логічний контролер
MODICON TM238LFDC24DT Schneider Electric

Для підключення аналогових датчиків температури та вологості, будемо використовувати модуль розширення аналогових входів TM2AMI4LT Schneider Electric (рис. 3.2), він розроблений для збільшення технічних ПЛК різних типів компанії Schneider Electric, зокрема MODICON TM238. Технічні характеристики модуль розширення TM2AMI4LT наведені у таблиці 3.2.

**Технічні характеристики модуля розширювання
аналогових входів TM2AMI4LT**

Серія	Логічний контролер Modicon M238
Кількість аналогових входів	4
Розширення аналогового входу	12 біт
Тип підключення датчиків	Напруга 0...10В; Струм 0...20мА; Pt100/Pt1000 датчик температури -200...600°C Ni100/Ni1000 датчик температури -50...150°C
Джерело живлення	Зовнішнє живлення
Напруга живлення	24В пост. струму
Похибка вимірювання	+/-0,2% повної шкали 0...10В; +/-0,4% шкали Pt100/Pt1000, Ni100/Ni1000



Рис. 3.2. Модуль розширення аналогових входів TM2AMI4LT

3.2.2. Вибір датчиків температури зерна і агенту сушіння та визначення їх передатних функцій

Вимірювальні перетворювачі вибирають в два етапи:

1. За типом контролюваного параметра об'єкта керування ами визначається різновид перетворювача.

2. За каталогами, знаходять його типорозмір.

Межі вимірювання ПВП повинні охоплювали діапазон зміни контрольованої ним величини. При цьому особливу увагу необхідно приділяти швидкодії ПВП, яка характеризується його постійною часу.

Згідно з даними таблиці 1.3 (пункт 1.3) гранично допустима температура повітря як агента сушіння дорівнює $65...125^{\circ}\text{C}$, гранично допустима температура зерна знаходиться у межах $45...60^{\circ}\text{C}$.

Постійна часу $T_{\text{ПВП}}$ ПВП повинна бути на порядок меншою від постійної часу об'єкта $T_{\text{ОУ}}$. Постійна часу об'єкту $T_{\text{ОУ}} = 1610$ с., максимальна постійна часу перетворювача повинна бути не більше $1610/10=161$ с.

Враховуючи діапазон вимірювання та інерційність, був обраний термоперетворювач опору ОВЕН ДТС125Л, технічні характеристики якого наведені в таблиці 3.3.

Термоперетворювач ОВЕН ДТС125Л застосовуються для вимірювання температури навколишнього повітря в автоматизованих системах опалення, вентиляції, кондиціонування повітря та кліматичного контролю. Конструктивні особливості комутаційної головки перетворювача температури дозволяють встановлювати його на стіну або іншу поверхню за допомогою шурупів, гвинтів або інших монтажних елементів.

Датчик складається із вбудованого в головку вимірювального перетворювача із вихідним сигналом 4-20 мА та термозонду (рис. 3.3).

Термоперетворювач ДТС125Л оснащено вбудованим нормувальним перетворювачем НПТ-2, який перетворює виміряне значення температури середовища (газів, пари, рідин та сипких середовищ) в уніфікований вихідний сигнал 4...20 мА постійного струму.

Основні технічні характеристики термоперетворювача опору ДТС125Л

Діапазон вимірюваних температур	0...+180 °С
Номінальна статична характеристика	100М
Діапазон вихідного струму перетворювача	4 – 20 мА
Показник теплової інерції	8 с
Ступінь захисту від пилу та вологи	IP55
Вид залежності «струм від температури»	лінійна
Пульсації вихідного сигналу	0,6%
Нелінійність перетворення, не менше	±0,2%
Напруга живлення	24В пост. струму



Рис. 3.3. Термоперетворювач опору ОВЕН ДТС125Л

За динамічними властивостями датчик є інерційною ланкою, передатна функція якого має вигляд $W_{ПВП}(s) = \frac{k_{ПВП}}{T_{ПВП} \cdot s + 1}$.

Коефіцієнт передачі $k_{ПВП}$ визначається за формулою

$$k_{ПВП} = \frac{\Delta I}{\Delta T} = \frac{20 - 4}{180 - 0} = 0,089 \frac{mA}{^{\circ}C}, \quad (3.1)$$

де ΔT – різниця значень вимірюваних датчиком температур, °С (таблиця 3.3);

ΔI – різниця струмів, що відповідає значенням температур в робочому діапазоні, мА.

Показник теплової інерції сприймаючого елемента складає $T_{ПВП} = 8$ с (таблиця 3.3), передатна функція датчика ДТС125

$$W_{ПВП}(s) = \frac{k_{ПВП}}{T_{ПВП} \cdot s + 1} = \frac{0,089}{8 \cdot s + 1}.$$

3.2.3. Вибір датчиків вологості зерна

Датчик вологи розроблено для оцінки рівня вологості сипучих матеріалів, включаючи зернові, олійні та бобові культури. У процесі відбору слід враховувати його основні технічні характеристики: діапазон вимірювань, рівні чутливості, похибка, діапазон робочих температур та варіанти інтерфейсу зв'язку. Нами було проаналізовано три технології вимірювання вологи: ємнісний метод, мікрохвильова технологія та рефлектометрія у часовій області. Ємнісний метод застосовний в умовах, коли зовнішні фактори, такі як температура, не впливають, мінеральний склад матеріалу залишається постійним і висока точність вимірювання не є важливою.

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

Технологія TRIME® дозволяє уникнути використання дорогих і схильних до помилок конструкцій байпасів, які вимагають надзвичайно дорогих мікрохвильових або інфрачервоних датчиків. Крім того, технологія TRIME®, інтегрована в вологомір зерна, забезпечує значну гнучкість конструкції зонда, дозволяючи оптимізувати роботу в різних сферах застосування. Ці переваги роблять його найкращим вологоміром зерна, а його ціна відображає якість його роботи.

Для вимірювання вологості зерна обраний датчик вологості TRIME-GW (рис. 3.4), технічні характеристики якого наведені в таблиці 3.4.



Рис. 3.4. Датчик вологості TRIME-GW

Таблиця 3.4.

Технічні характеристики давача вологості TRIME-GW

Напруга живлення	9 ... 36В DC
Струм споживання	150 мА при $U_{пит} = 24 В$;
Діапазон вимірювання вологості, зонд GR, WS2, GS1, GS2	0...45% за вагою
Зонд WS3	0...70% за вагою
Стандартне відхилення	0,6% у діапазоні вологості 0...20%; 1% у діапазоні вологості 20...45%; 2% у діапазоні вологості 45...70%;
Точність відтворення результатів	$\pm 0,3\%$;
Діапазон температур довкілля	-10...+60°C
Діапазон температур середовища вимірювання	0 ... +127 ° C
Інтерфейси	IMP232 MICRONET
Аналоговий вихід	4...20 мА відповідає 0...100% вологості

3.2.4. Вибір датчиків рівня зерна

Датчик граничного рівня сипких матеріалів – це пристрій для контролю граничного рівня сипких продуктів у резервуарах, що сигналізує про досягнення певного рівня матеріалу шляхом подачі сигналу. Найпоширеніші типи – **вібраційні** (працюють на зміні частоти або амплітуди вібрації елемента, що занурюється в матеріал) та **роторні** (де лопать датчика перестає обертатися при контакті з матеріалом). Вони використовуються в різних галузях для автоматизації контролю рівня в силосах, бункерах та інших ємностях.

Як датчик нижнього та верхнього рівня зернової маси у герметичному бункері конвеєрної зерносушарки вибраний вібраційний датчик рівня типу VEGAVIB 61 (рис. 3.5).

Визначення заданого рівня речовини за допомогою **вібраційного сигналізатора рівня VEGA** дозволяє досягти високої надійності і точності завдяки відсутності залежності приладу від діелектричної проникності речовини, вологості, щільності, тиску, температури, утворення піни, бульбашок та пилу. П'єзоелемент вібраційного сигналізатора рівня збуджує коливання віброуючого елемента у вигляді стрижня або виделки. При зануренні у вимірюване середовище частота коливань чутливого елемента змінюється, перетворюючи електронікою приладу в команду перемикачання.

Чутливі елементи вібраційних сигналізаторів рівня відрізняються відносно малими розмірами, відсутністю механічних вузлів і виконані повністю з нержавіючої сталі.

Технічні характеристики датчика рівня VEGAVIB 61 наведені в таблиці 3.5.



Рис. 3.5. Вібраційний датчик рівня VEGAVIB 61

Таблиця 3.5.

Технічні характеристики датчика рівня сипучих продуктів VEGAVIB 61

Принцип дії	вібраційний
Застосування	сигналізація рівня сипучих продуктів зі щільністю від 20 г/л;
Матеріал чутливого елемента	нержавіюча сталь 316L;
Приєднання	різьба від G1A, фланці від DN50;
Робоча температура	-50...+250°C
Робочий тиск	-1...+16 бар (-100...+1600 кПа);
Виробництво	VEGA (Німеччина)
Живлення	100-240 V AC, 24±10% V DC
Сигналізація спрацювання	Вмикання світлодіоду на платі
Час спрацювання	3-4 сек.

3.2.5. Визначення передатної функції електродвигуна приводу розвантажувального шнеку як виконавчого механізму САК температурою зерна

Час проходження зернової маси через зони конвеєрної зерносушарки регулюється за допомогою зміни швидкості обертання валу електродвигуна приводу розвантажувального шнеку.

Передатна функцію електродвигуна (ВМ САК) визначається наступним чином.

Можливість зміни швидкості обертання валу електродвигуна приводу розвантажувального шнеку частотним способом впливає із виразу для синхронної швидкості обертового магнітного поля статора

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p}, \quad (3.2)$$

Швидкість ω_0 прямо пропорційна частоті f напруги, що підводиться до обмоток статора.

Позначимо через ω_{1V} швидкість обертання поля статора при частоті f_V .

Тоді відносна швидкість поля

$$v = \frac{f_V}{f_H} = \frac{\omega_{1V}}{\omega_0}, \quad (3.3)$$

де швидкість ω_0 пов'язана з частотою мережі виразом (3.2).

Введемо поняття фіктивного ковзання

$$s_\phi = \left(\frac{\omega_{1V}}{\omega_0} \right) \cdot s = v \cdot s. \quad (3.4)$$

Дійсна швидкість обертання при частоті f_V

$$\omega = \omega_{1V} \cdot (1 - s). \quad (3.5)$$

Підставляючи у (3.5) значення ω_{1V} із (3.3) з урахуванням (3.4), визначимо

$$\omega = \omega_0 \cdot (v - s_\phi). \quad (3.6)$$

Обертаючий момент двигуна пропорційний ковзанню

$$M = \left(\frac{M_H}{s_H} \right) \cdot s_\phi. \quad (3.7)$$

Підставляючи (3.6) та (3.7) у вихідне рівняння

$$M - M_C = J \cdot \frac{d\omega}{dt}, \quad (3.8)$$

(вважаючи при цьому $M_C = 0$) $J \cdot s \cdot \omega = M$, отримаємо

$$J \cdot s \cdot \omega_0 \cdot (v - s_\phi) = \left(\frac{M_H}{s_H} \right) \cdot s_\phi. \quad (3.9)$$

Цей вираз можна представити як

$$\frac{J \cdot \omega_0 \cdot s_H}{M_H} \cdot s \cdot \frac{s_\phi}{s_H} + \frac{s_\phi}{s_H} = \frac{J \cdot \omega_0}{M_H} \cdot s \cdot v. \quad (3.10)$$

Якщо за вхідну величину прийняти відносну швидкість поля v , а за вихідну – відносне ковзання $\sigma = \frac{s_\phi}{s_H}$, то вираз (3.10) матиме вигляд

$$T_{M1} \cdot s \cdot \sigma + \sigma = T_{M2} \cdot s \cdot v, \quad (3.11)$$

$$\text{де } T_{M1} = \frac{J \cdot \omega_0 \cdot s_H}{M_H} \text{ та } T_{M2} = \frac{J \cdot \omega_0}{M_H}.$$

Передатна функція асинхронного електродвигуна при частотному керуванні

$$W(s) = \frac{\sigma(s)}{v(s)} = \frac{T_{M2} \cdot s}{T_{M1} \cdot s + 1}. \quad (3.12)$$

На практиці передатна функція асинхронного електродвигуна при частотному керуванні визначається наступним чином.

$$W_{BM}(s) = \frac{k_{BM}}{T_{BM} \cdot s + 1}, \quad (3.13)$$

$$k_{BM} = \frac{\omega_H}{f}; \quad (3.14)$$

$$T_{BM} = \frac{J_{3B}}{\beta}, \quad (3.15)$$

де J_{3B} - зведений момент інерції електродвигуна – вентилятора;

β - жорсткість механічної характеристики;

$$\beta = \frac{2 \cdot M_{KP}}{\omega_0 \cdot s_{KP}}, \quad (3.16)$$

де M_{KP} - критичний момент електродвигуна;

s_{KP} - критичне ковзання електродвигуна.

За каталогом вибіраємо електродвигун АИР100S4УЗ, технічні характеристики наведені в (табл. 5.1).

Для визначення передатної функції будемо використовувати вирази (3.13) – (3.16).

$$M_H = 9550 \cdot \frac{P_H}{n_H} = 9550 \cdot \frac{3}{1410} = 20,32 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (3.17)$$

$$M_{KP} = M_H \cdot \mu_{KP} = 20,32 \cdot 1,6 = 32,51 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (3.18)$$

$$S_H = \frac{n_0 - n_H}{n_0} = \frac{1500 - 1410}{1500} = 0,06. \quad (3.19)$$

$$\mu_1 = \frac{\mu_{KP}}{\mu_{ПВСК}} = \frac{1,6}{1,4} = 1,14. \quad (3.20)$$

$$S_{KP} = \frac{S_H + \sqrt{S_H \cdot \frac{\mu_{KP} - 1}{\mu_1 - 1}}}{1 + \sqrt{S_H \cdot \frac{\mu_{KP} - 1}{\mu_1 - 1}}} = \frac{0,06 + \sqrt{0,06 \cdot \frac{1,6 - 1}{1,14 - 1}}}{1 + \sqrt{0,06 \cdot \frac{1,6 - 1}{1,14 - 1}}} = 0,35 \quad (3.21)$$

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_0}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1500}{60} = 157 \text{ рад./с.} \quad (3.22)$$

$$\omega_H = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_H}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1410}{60} = 147,6 \text{ рад./с.} \quad (3.23)$$

$$J_{IP} = J_{ДВ} + J_{PM} = 0,01 + 0,09 = 0,1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2. \quad (3.24)$$

Тоді

$$\beta = \frac{2 \cdot M_{KP}}{\omega_0 \cdot S_{KP}} = \frac{2 \cdot 32,51}{157 \cdot 0,35} = 1,18 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад./с.}}$$

$$T_{BM} = \frac{J_{ЗВ}}{\beta} = \frac{0,1}{1,18} = 0,085 \text{ с.} \quad k_{BM} = \frac{\omega_H}{f} = \frac{147,6}{50} = 2,95 \frac{\text{рад./с.}}{\text{Гц}}$$

Передатна функція електродвигуна АИР100S4У3

$$W_{BM}(s) = \frac{k_{BM}}{T_{BM} \cdot s + 1} = \frac{2,95}{0,085 \cdot s + 1}$$

3.2.6. Вибір частотного перетворювача

У САК конвеєрною зерносушаркою для керування електродвигуном приводу розвантажувального шнеку вибраний частотний перетворювач **Altivar ATV312** (рис. 3.6).

Перетворювачі частоти Altivar ATV 312 призначені для захисту і для плавного, безступінчастого регулювання швидкості трифазних асинхронних електродвигунів з живленням від 200 до 600 В і потужністю від 0,18 до 15 кВт. Регулювання відбувається за рахунок створення на виході трифазного струму змінної частоти. Перетворювач дозволяє відстежувати і відображати на цифровому табло основні параметри – задану швидкість, вихідну частоту, струм і напругу двигуна, вихідну потужність і момент, стан дискретних входів, загальний час роботи перетворювача і т.д.

Перетворювачі частоти Altivar ATV 312 оснащені вбудованим модулем реалізації ПД-алгоритму керування.

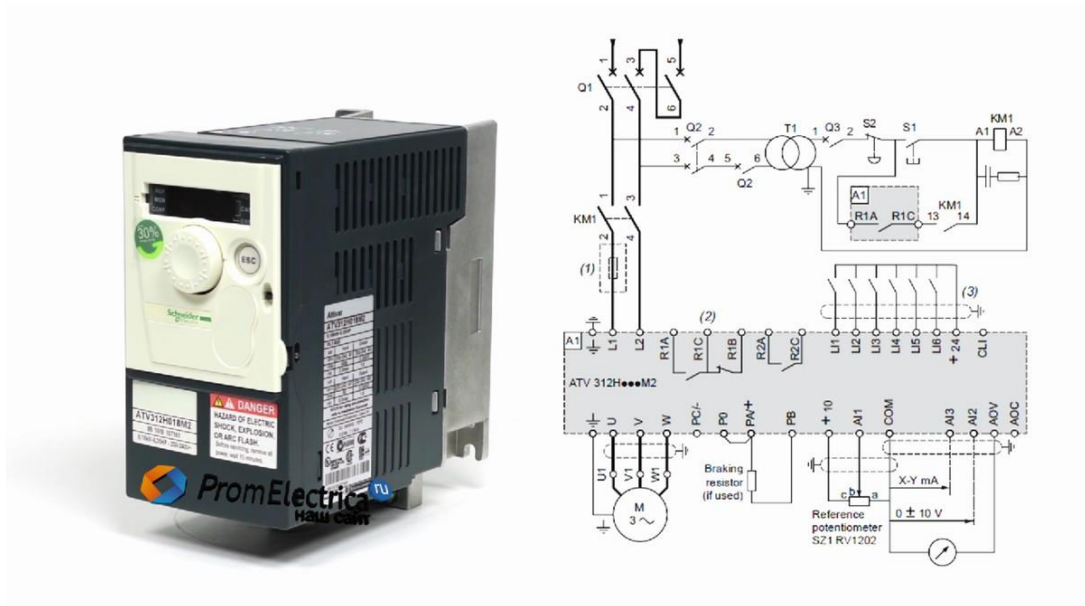


Рис. 3.6. Вигляд перетворювача частоти
Altivar ATV312 та схема вмикання

Altivar ATV 312 є універсальними загальнопромисловими частотними перетворювачами з широким спектром функцій, здатними виконувати ряд складних завдань із захисту, управління і автоматизації в промисловості та сільського господарства. Для них характерна легкість введення в експлуатацію і простота вбудовування в більшість систем автоматизації завдяки запропонованим додатковим комунікаційним картками.

Серед переваг частотних перетворювачів Altivar ATV 312: універсальність, надійність, спрощений інтерфейс, можливість настройки за допомогою Bluetooth, легкість навігації по меню, можливість управління приводом з терміналу перетворювача, наявність великої кількості прикладних функцій, автоподстройка характеристик приводу, вбудовані фільтри ЕМС.

Можливості перетворювача Altivar ATV312:

Вхідна напруга: 200-600 В \pm 10%;

Вихідна частота: 0,2 - 400 Гц;

Кількість фаз: 3;

Номинальний струм: 7,2 А;
Потужність двигуна: 3 кВт;
Захист від перевантаження, обриву/перекоосу фаз;
Захист від перегріву;
Захист від коротких замикань;
Перевантажувальна здатність: 150% протягом 1 хвилини;
Вбудовані протоколи Modbus;
Вбудований ПД-регулятор;
Вбудований інтерфейс RS-485 зв'язку з ПК;
Швидкість обміну даними складає до 19500 бод;
Вбудована функція "Stop&Go"(зменшує споживання електроенергії у режимі очікування до 60%);
Способи зупинки двигуна: контрольованим гальмуванням або вільним вибігом; Тип управління: векторне керування.

Перетворювач Altivar ATV312 дозволяє контролювати відхилення енергоспоживання системи від номінальних значень.

Потужність перетворювача частоти, або необхідна їх кількість для живлення усіх електродвигунів приводу вентиляторів, визначається за таблицею 3.6.

**Технічні характеристики перетворювачів частоти
Altivar ATV312**

Номер за каталогом	Потужність, кВт	Струм в усталеному режимі, А	Перевантаження за струмом, 60 сек., А	Габарити, ВхШхГ	Маса, кг
ATV312HU075N4	0,75	2,2	2,4	143x107x150	2
ATV312HU15N4	1,50	3,7	4	143x107x150	2
ATV312HU22N4	2,20	5,1	5,6	143x107x150	2
ATV312HU30N4	3	7,2	7,9	184x142x150	3,350
ATV312HU40N4	4	9,1	10	184x142x150	3,350
ATV312HU55N4	5,5	12	13,2	184x142x150	3,350
ATV312HU75N4	7,5	16	17,6	232x180x170	6,450

Для приводу розвантажувального шнеку використовується асинхронний трифазний електродвигун АИР100S4У3 потужністю 3,0 кВт, який був вибран за каталогом, необхідно використати частотний перетворювач Altivar ATV312HU30N4 (згідно з табл. 3.6).

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

В сучасних САК цифрові регулятори стають основним видом. Згідно з теоремою Котельникова для розрахунку параметрів налаштувань ПІД-регулятора, застосуємо аналітичні та графічні методи. При необхідності аналізу процесів у цифровому регуляторі (створенні програм, що реалізують алгоритм керування) при дослідженні впливу періоду квантування та дискретного характеру сигналів на динамічні характеристики цифрової системи, метод синтезу регулятора у Z-перетворенні буде більш точним.

Розглянемо методику розрахунку параметрів налаштувань цифрового регулятора (при апроксимації неперервної частини систем другого порядку) у вигляді послідовного з'єднання двох інерційних ланок:

$$W_{нч}(s) = \frac{K}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)}. \quad (4.1)$$

Розглянемо випадок з ПІД регулятором. Передатна функція цифрового ПІД-регулятора має вигляд:

$$W_{pp}(z) = K_p + \frac{K_i T(z+1)}{2(z-1)} + \frac{K_d(z-1)}{Tz} = \frac{K_i T^2 + 2K_d + 2K_p T}{2Tz(z-1)} \left(z^2 + \frac{K_i T^2 - 2K_p T - 4K_d}{K_i T^2 + 2K_d + 2K_p T} z + \frac{2K_d}{K_i T^2 + 2K_d + 2K_p T} \right) \quad (4.2)$$

Якщо в знаменнику неперервної частини є два полюси z_1 і z_2 , то знаменник має поліном другого степеня $z^2 - (z_1 + z_2)z + z_1 z_2$. Синтез цифрового ПІД-регулятора полягає у знаходженні значень коефіцієнтів налаштування K_p , K_i , K_d , які визначаються таким чином, щоб компенсувати два полюси Z-перетворення неперервної частини системи, що відповідають двом інерційним ланкам. Отримуємо систему двох рівнянь з трьома невідомими:

$$\begin{cases} \frac{K_i T^2 - 2K_p T - 4K_d}{K_i T^2 + 2K_d + 2K_p T} = -(z_1 + z_2) = d \\ \frac{2K_d}{K_i T^2 + 2K_d + 2K_p T} = z_1 z_2 = c \end{cases} \quad (4.3)$$

Оскільки рівняння (4.2) та (4.3) мають зайву змінну, то коефіцієнт інтегральної складової регулятора будемо визначати за додатковими технологічними умовами (добротністю за швидкістю K_V , яка визначається як величина, обернена коефіцієнту похибки за швидкістю C_1 при поданні динамічної похибки $\Delta x(t)$ у вигляді нескінченного ряду)

$$\Delta x(t) = C_0 \cdot x_{ex}(t) + C_1 \cdot \frac{dx_{ex}(t)}{dt} + \frac{C_2}{2!} \cdot \frac{d^2 x_{ex}(t)}{dt^2} + \dots \quad (4.4)$$

Для астатичної системи добротність за швидкістю визначимо як відношення швидкості зміни вхідного сигналу $\frac{dx_{ex}(t)}{dt} = \dot{x}_{ex}$ до усталеної похибки

$$K_V = \frac{\dot{x}_{ex}}{\Delta x_{уст}} \quad (4.5)$$

при лінійній зміні вхідного сигналу $x_{ex}(t) = kt$. Тоді швидкість $\dot{x}_{ex} = const = k$, а Z-зображення вхідного сигналу $X_{ex}(z) = \frac{kTz}{(z-1)^2}$.

Зображення динамічної похибки матиме вигляд:

$$\Delta X(z) = \frac{X_{ex}(z)}{1 + W_{роз}(z)} = \frac{X_{ex}(z)}{1 + W_{рег}(z)W_{нч}(z)} \quad (4.6)$$

Усталена похибка (згідно з теоремою про кінцеве значення Z-перетворення) буде дорівнювати:

$$\begin{aligned} \Delta x_{уст} &= \lim_{z \rightarrow 1} \frac{z-1}{z} \Delta X(z) = \lim_{z \rightarrow 1} \frac{z-1}{z} \frac{X_{ex}(z)}{1 + W_{рег}(z)W_{нч}(z)} = \\ &= \lim_{z \rightarrow 1} \frac{z-1}{z} \frac{kTz}{(z-1)^2} = \frac{kT}{\lim_{z \rightarrow 1} [(z-1)(1 + W_{рег}(z)W_{нч}(z))]} = \\ &= \frac{kT}{\lim_{z \rightarrow 1} [(z-1) \cdot W_{рег}(z)W_{нч}(z)]}. \end{aligned} \quad (4.7)$$

Тоді враховуючи, що швидкість $\dot{x}_{ex} = k$, отримаємо:

$$\Delta x_{уст} = \frac{\dot{x}_{ex}}{\frac{1}{T} \lim_{z \rightarrow 1} [(z-1) \cdot W_{рег}(z)W_{нч}(z)]} \quad (4.8)$$

Тоді для систем з ПД-регуляторами та ПІ – регуляторами

(при $K_d=0$)

$$K_V = \frac{\dot{x}_{ex}}{\Delta x_{ycm}} = \frac{1}{T} \lim_{z \rightarrow 1} [(z-1) \cdot W_{pez}(z) W_{nc}(z)] = \quad (4.9)$$

$$= \frac{1}{T} \lim_{z \rightarrow 1} \left[\left((z-1) K_p + (z-1) \frac{K_i T (z+1)}{2(z-1)} + (z-1) \frac{K_d (z-1)}{z} \right) W_{nc}(z) \right].$$

Тоді добротність за швидкістю для систем з ПІ та ПІД- регуляторами

$$K_V = \lim_{z \rightarrow 1} W_{nc}(z) \cdot K_i. \quad (4.10)$$

Похибка слідкування (при лінійній зміні вхідного сигналу $x_{ex}(t) = kt$)

буде дорівнювати:

$$\Delta x_{ycm} = \varepsilon_{tr} = \frac{k}{K_V} \quad (4.11)$$

Коефіцієнт інтегруючої складової регулятора:

$$K_i = \frac{K_V}{\lim_{z \rightarrow 1} W_{nc}(z)} \quad (4.12)$$

Значення коефіцієнтів добротності за швидкістю K_V залежать від постійних часу T об'єкту (табл. 4.1).

Таблиця 4.1.

Залежність коефіцієнту добротності за швидкістю від постійних часу об'єкта

Постійні часу об'єкту T , с	Коефіцієнт добротності за швидкістю K_V
≈ 1	3..10
≈ 10	0,3..1
≈ 100	0,01..0,04
≈ 1000	0,004..0,012

Оскільки постійна часу електродвигуна 0,085 с то нехтуємо інерційною складовою передатної функції електродвигуна.

За допомогою математичного пакету MATLAB визначаємо передатні функції складових елементів САК:

$$W_{ПВП}(s) = \frac{0,089}{8 \cdot s + 1}.$$

$$W_{ВМ}(s) = \frac{2,95}{0,085 \cdot s + 1}.$$

$$W_{OV}(s) = \frac{0,39 \cdot e^{-40 \cdot s}}{1610 \cdot s + 1}.$$

Передатна функція розімкненої неперервної частини

$$W_{PO3}(s) = \frac{0,089 \cdot 2,95 \cdot 0,39}{(8 \cdot s + 1) \cdot (0,085 \cdot s + 1) \cdot (1610 \cdot s + 1)} = \frac{0,102}{(8 \cdot s + 1) \cdot (0,085 \cdot s + 1) \cdot (1610 \cdot s + 1)}.$$

Передатна функція замкненої неперервної частини

$$W_{3AM}(s) = \frac{W_{PO3}(s)}{1 + W_{PO3}(s)} = \frac{\frac{0,102}{(8 \cdot s + 1) \cdot (0,085 \cdot s + 1) \cdot (1610 \cdot s + 1)}}{1 + \frac{0,102}{(8 \cdot s + 1) \cdot (0,085 \cdot s + 1) \cdot (1610 \cdot s + 1)}}.$$

$$W_{3AM}(s) = \frac{0,102}{1094,8s^3 + 13017s^2 + 1618,085s + 1,102}$$

За теоремою Котельнікова (імпульсною теоремою) для безпомилкового відтворення сигналу (як показує аналіз амплітудних спектрів імпульсної системи) найменша частота квантування повинна дорівнювати $2 \cdot \omega_c$, де ω_c – найвища частота вхідного сигналу в амплітудно-частотній характеристиці неперервної частини системи.

Якщо сигнал не містить в собі частот вище, ніж ω_c , рад/с, (імпульсна теорема) він повністю описується своїми значеннями, виміряними у дискретні моменти часу з інтервалом

$$T_c \leq \frac{\pi}{\omega_c} \quad (4.13)$$

При заданій точності відтворення сигналу ми можемо вважати, що він має обмежений спектр. Цю межу спектра визначають за формулою:

$$|W_{3.нч}(j \cdot \omega)| \leq \theta_{зад}, \quad (4.14)$$

де $|W_{3.нч}(j \cdot \omega)|$ – амплітудно-частотна характеристика неперервної частини замкненої автоматичної системи;

$\theta_{зад}$ – необхідна точність, що повинна бути забезпечена на виході системи.

За допомогою математичного пакету MATLAB будемо АЧХ замкненої неперервної частини САК (рис. 4.1) та визначасмо час квантування T_k .

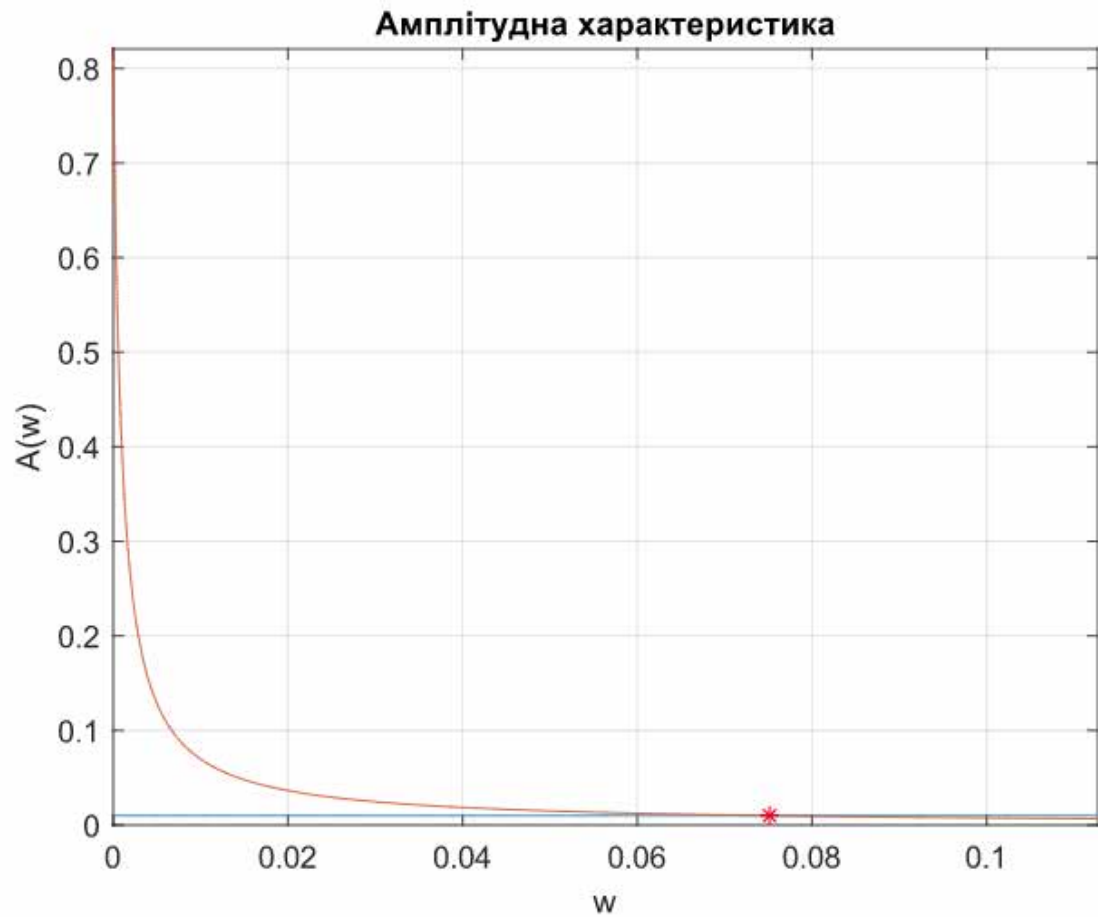


Рис. 4.1. АЧХ замкненої неперервної частини САК

```

Розрахункова частота квантування
ws =
    0.0752
Розрахунковий період квантування
Tk =
    41.8041

```

```

Дискретна передатна функція розімкнутої неперервної частини
Wncz =
      0.0313 z + 1.032e-05
      -----
      z^2 - 0.9686 z
Sample time: 41.804 seconds
Discrete-time transfer function.
Корені характеристичного рівняння
Zk =
      0
      0.9686
Корені характеристичного рівняння
a1 =
1312.0
Корені характеристичного рівняння
b1 =
      0
Коефіцієнт помилки системи за швидкістю
C1 =
328.0

Коефіцієнт добротності системи за швидкістю
Kv =
0.0030487499748373009139939993823708
Інтегральний параметр складової ПІД-регулятора
Ki =
0.0030537
Пропорційний параметр складової ПІД-регулятора
Kp =
      4.0068

Диференціальний параметр складової ПІД-регулятора
Kd =
      0

```

З наведених розрахунків для САК температурою сушіння зерна у конвеєрній зерносушарці отримано дані для налаштування ПІД-регулятора.

Проведемо оцінку стійкості цифрової СК температурним режимом сушіння зерна за допомогою критерію Джурі. Згідно цього критерію усі корені характеристичного рівняння повинні знаходитися в колі одиничного радіусу на z -площині для дійсних коренів $|z_k| < 1$ (рис. 4.2).

Усі корені характеристичного рівняння знаходяться у колі одиничного радіусу на z -площині – **система є стійкою**.

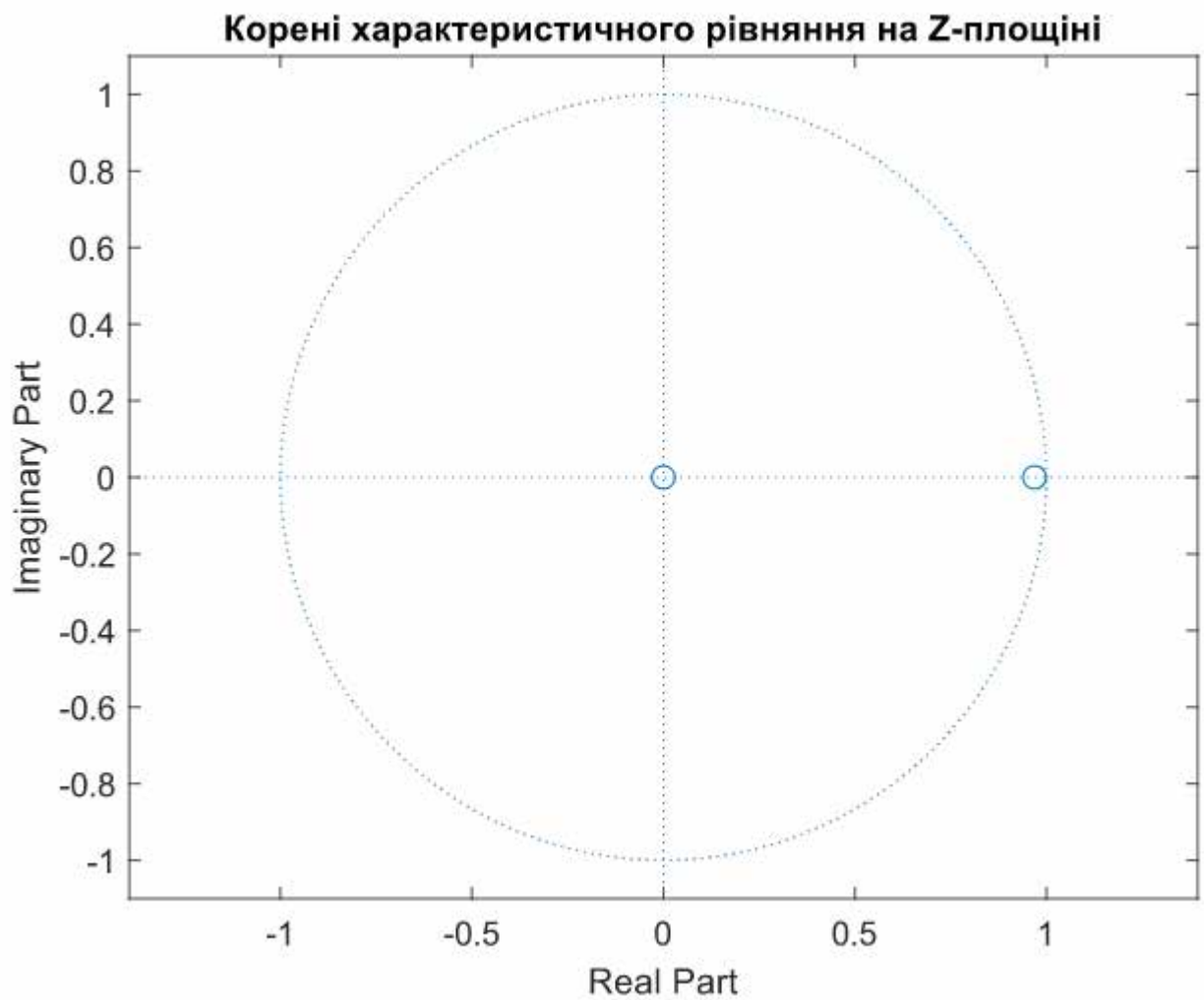


Рис. 4.2. Корені характеристичного рівняння на z-площині

Побудувавши перехідний процес (рис. 4.3) цифрової системи керування у пакеті MATLAB, отримаємо показники якості роботи САК.

Показники якості роботи САК:

- час регулювання дорівнює 3000 с;
- помилки регулювання та перерегулювання відсутні.

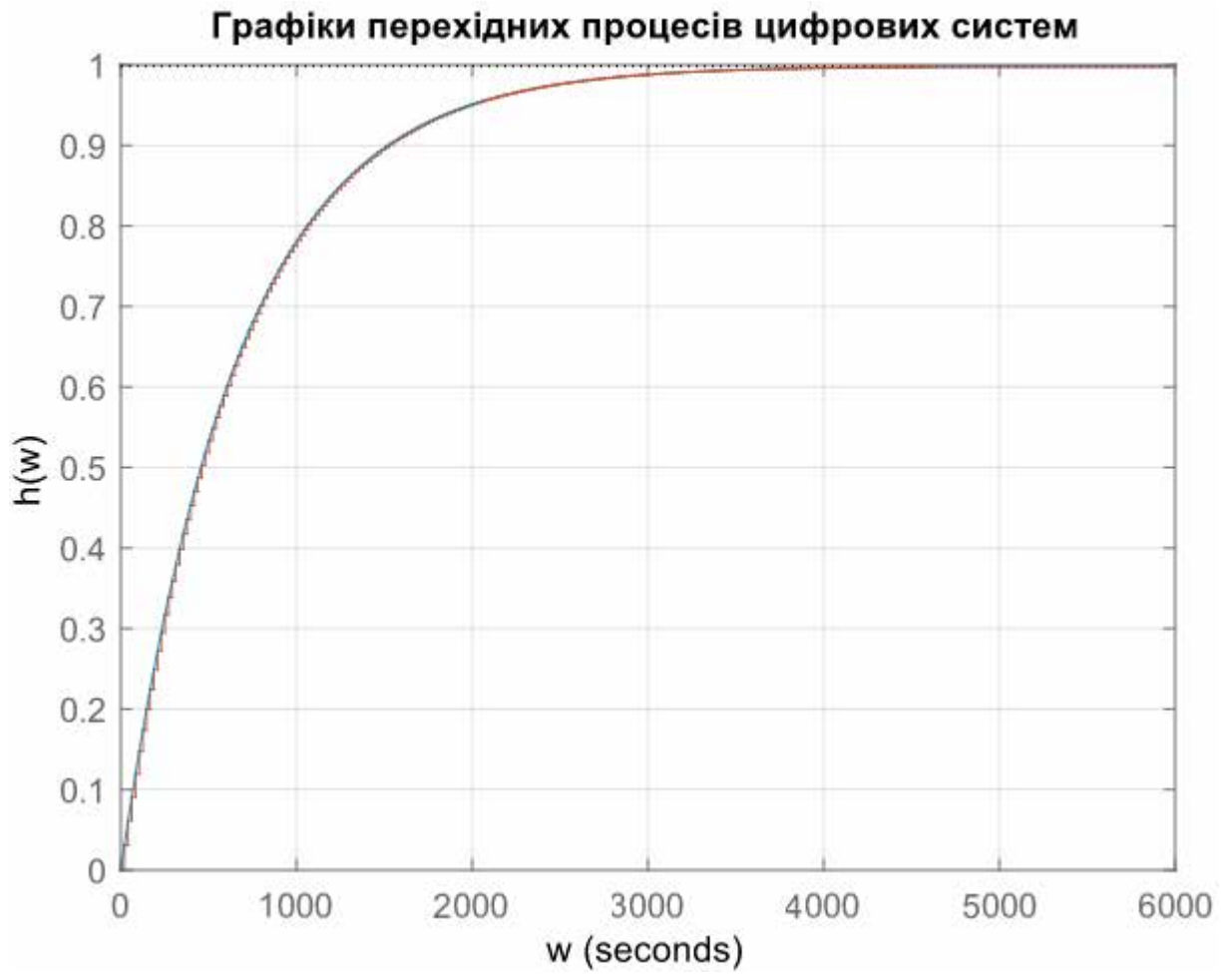


Рис. 4.3. Перехідний процес САК температурним режимом сушіння зерна у конвеєрній зерносушарці

РОЗДІЛ 5

СХЕМИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

5.1 Розробка схеми електричної принципової системи автоматичного керування конвеєрною зерносушаркою *Alvan Blanch*

Схема електрична принципова системи автоматичного керування конвеєрною зерносушаркою *Alvan Blanch* зображена на рис. 5.1, 5.2 та 5.3.

Схема побудована з використанням програмованого логічного контролера Modicon M238 TM238LFDC24DT (D1.1) із модулями розширення аналогових входів TM2AMI4LT (D1.4, D1.5), релейних виходів TWDDRA8RT (D1.12) та частотного перетворювача ATV312HU30N4 (U1).

Алгоритм керування конвеєрною зерносушаркою:

1. Вмикаються усі автоматичні вимикачі QF1...QF7.
2. Натисканням кнопки "Пуск" SB2.1 здійснюється запуск виконання програми керування у програмно-логічному контролері (ПЛК) D1.1.
3. При встановленні перемикача режимів роботи SA1 у положення "Автоматичний" натисканням кнопки SB3 починається вентиляювання зони сушіння атмосферним повітрям: вмикаються електродвигуни приводу відцентрових вентиляторів M1 (подача агента сушіння) та M2 (подача повітря в зону охолодження зерна). Тривалість вентиляювання – 10хв.
4. Після закінчення вентиляювання відповідним контактом ПЛК та проміжного реле KL4 вмикається електродвигун M4 приводу норії завантаження зерна в герметичний бункер. При досягненні зерновою масою верхнього рівня спрацювання датчика верхнього рівня зерна D1.2 вмикає подачу зерна на конвеєр в зону сушіння.

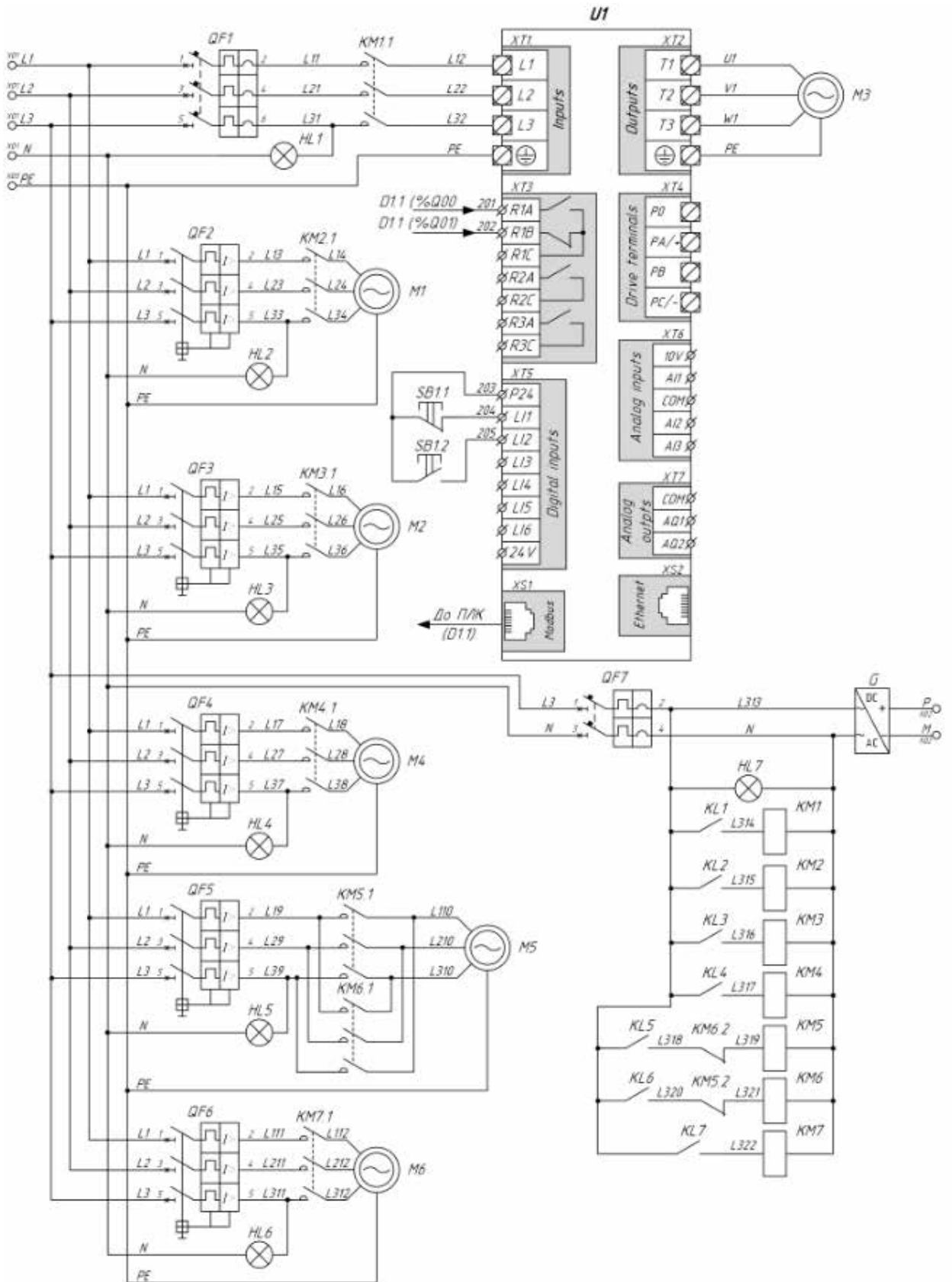


Рис. 5.1. Система автоматичного керування конвеєрною зерносушаркою *Alvan Blanch*. Схема електрична принципова

5. Одночасно із завантажувальною норією вмикається теплогенератор нагріву повітря, і агент сушіння подається у зону нагріву та зону сушіння.

6. Через 30 хв. вмикається електродвигун М3 приводу розвантажувального шнеку, який подає зерно у зону охолодження.

7. Значення температури зерна і сушильного агенту отримується ПЛК від датчиків температури (D1.6, D1.7, D1.8 та D1.9), вологості зерна – від датчиків вологості (D1.10 та D1.11) через відповідні модулі розширення аналогових входів D1.4, D1.5.

Експозиція (тривалість) сушіння регулюється швидкістю його вивантаження з сушарки (чим швидше зерно вивантажується, тим меншим є тривалість його перебування в зоні сушарки). Це здійснюється за допомогою частотного перетворювача U1, який змінює швидкість обертання валу приводного електродвигуна М3.

8. Коли вологість зерна досягає необхідного значення, вмикається електродвигун М6 приводу шнеку вивантаження.

Процес сушіння зерна продовжується до його повного вивантаження з сушарки (спрацювання датчика нижнього рівня D1.3 та 2хв. на вивантаження).

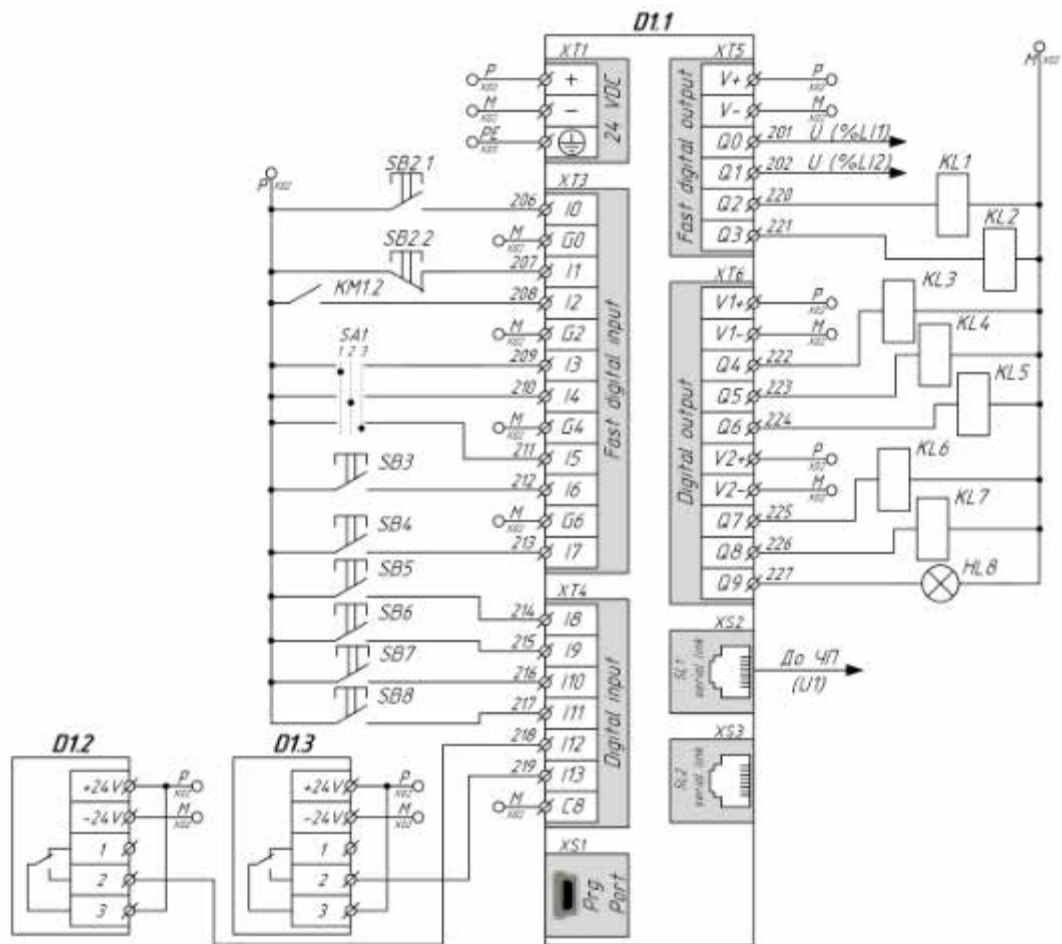


Рис. 5.2. Система автоматичного керування конвеєрною зерносушаркою *Alvan Blanch*. Схема електрична принципова (продовження: приєднання електротехнічного обладнання до ПЛК Modicon M238)

9. Після закінчення сушіння зупиняються електродвигуни М1, М2 та М3 приводу відповідно відцентрових вентиляторів та вивантажувального шнеку, вимикається теплогенератор. Повний цикл сушіння завершений.

Лампи HL1-HL8 на принциповій схемі (рис. 5.3) сигналізують про наявність напруги живлення у відповідних колах керування електродвигунами та САК, лампи HL9-HL16 – про виконання відповідних технологічних операцій.

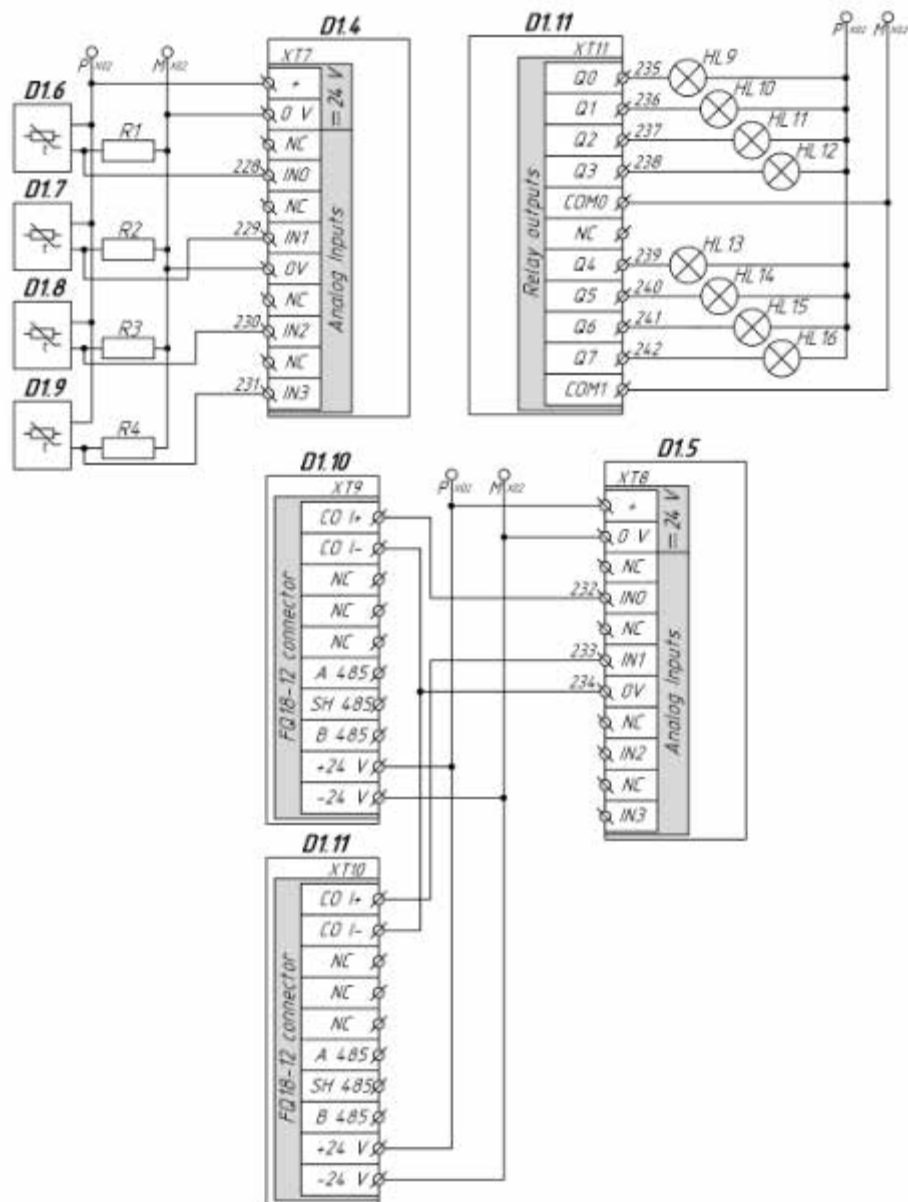


Рис. 5.3. Система автоматичного керування конвеєною зерносушаркою *Alvan Blanch*. Схема електрична принципова (продовження: приєднання датчиків температури та вологості до модулів розширення аналогових входів TM2AMI4LT)

Зазначеному опису роботи принципової схеми відповідає наступна блок-схема алгоритму роботи САК (рис. 5.4).

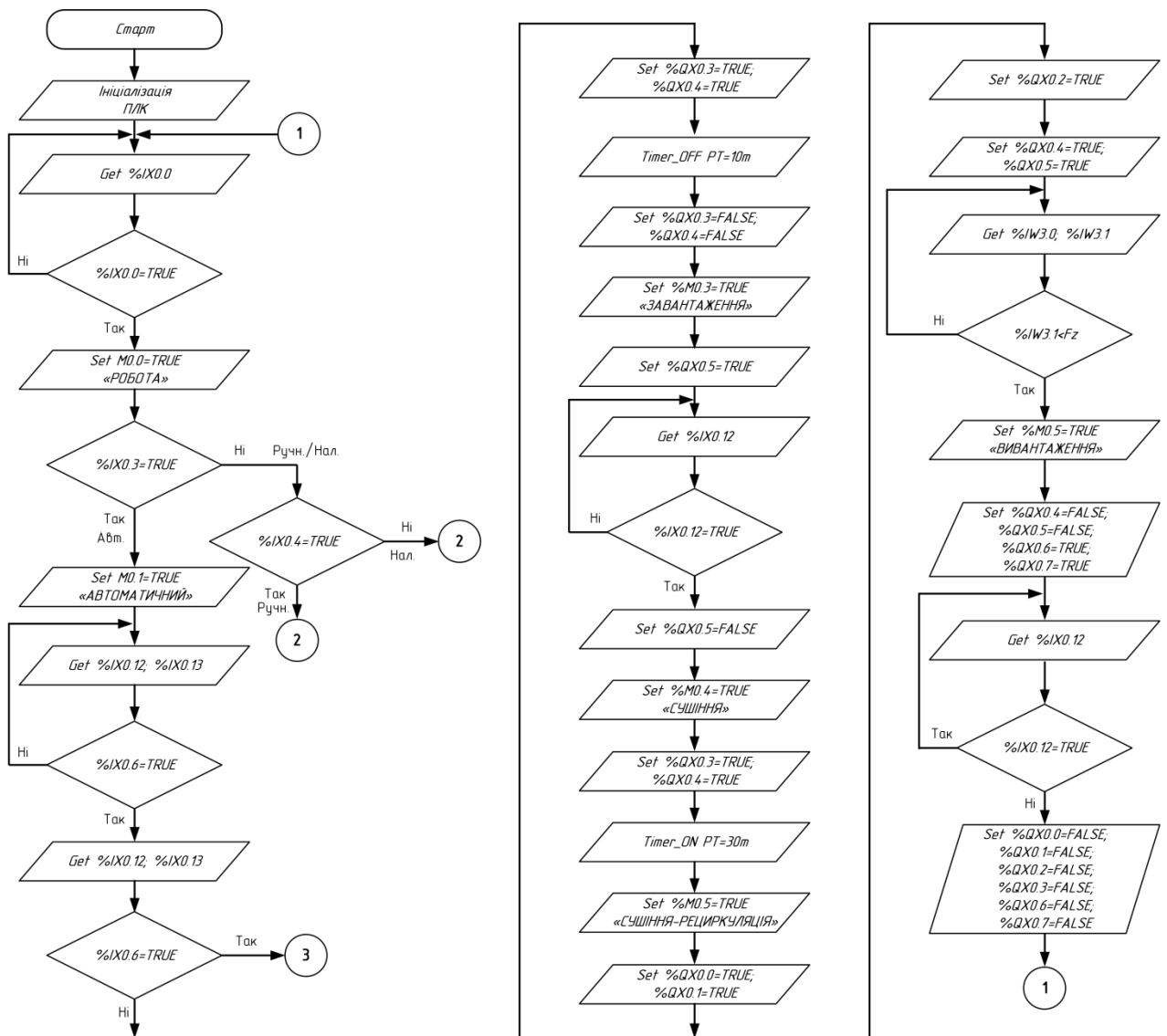


Рис. 5.4. Блок-схема алгоритму роботи САК конвеєною зерносушаркою

5.2. Вибір апаратури захисту та керування

За електричною принциповою схемою системи автоматичного керування конвеєрною зерносушаркою Alvan Blanch, для керування та захисту використовується наступне обладнання:

- для пуску, зупинки та захисту перетворювача частоти **U1**, що керує швидкістю обертання валу електродвигуна **M3** від струмів короткого замикання використовується автоматичний вимикач **QF1** та електромагнітний пускач **KM1**, при чому захист електродвигуна **M3** від перевантаження, обриву/перекосу фаз, перегріву, коротких

замикань, при перевищенні крутного моменту здійснює сам перетворювач частоти;

– для пуску, зупинки та захисту електродвигунів приводу відцентрових вентиляторів (M1 та M2), норії завантаження (M4) та – електродвигунів приводу вентиляторів теплообмінників, (M5 та M6), від струмів короткого замикання та перевантажень використовуються автоматичні вимикачі із комбінованими (електромагнітним та тепловим) розчіплювачами та електромагнітні пускачі (відповідна нумерація за принциповою схемою);

– для захисту кола керування від струмів короткого замикання використовується автоматичний вимикач QF7.

Технічні характеристики електродвигунів наведені у табл. 5.1, 5.2.

Таблиця 5.1.

Технічні характеристики асинхронних трифазних електродвигунів АИР180М8У3 та АИР132S4У3 приводу відцентрових вентиляторів

Характеристика електродвигуна	Марка електродвигуна	
	АИР180М8У3 (M1)	АИР132S4У3 (M2)
Потужність, кВт	15	7,5
Напруга живлення, В	380/660	220/380, 380/660
Номінальний струм, А	34,1	15,6
Частота обертання поля статора, об/хв.	750	1500
Частота обертання валу, об./хв.	730	1450
cosφ	0,76	0,84
ККД, %	88,0	87,0
Відношення моментів $M_{пуск}/M_H$	2,0	2,3
Відношення моментів M_{max}/M_H	2,0	2,3
Відношення струмів $I_{пуск}/I_H$	6,6	7,0
Термічний клас ізоляції обмоток	F – до 150°C	F – до 150°C
Ступінь захисту	IP54	IP54
Вага, кг	172,0	67,0

**Технічні характеристики асинхронних трифазних електродвигунів
АИР100S4У3 та АИР100L6У3 приводу розвантажувального шнеку та
норії завантаження**

Характеристика електродвигуна	Марка електродвигуна	
	АИР100S4У3 (М3)	АИР100L6У3 (М4, М5, М6)
Потужність, кВт	3,0	2,2
Напруга живлення, В	3ф,220/380,50Гц	3ф,220/380,50Гц
Номінальний струм, А	6,8	5,6
Частота обертання поля статора, об/хв.	1500	1000
Частота обертання валу, об./хв.	1410	935
cosφ	0,82	0,76
ККД, %	82,6	79,0
Відношення моментів $M_{\text{пуск}}/M_{\text{н}}$	2,3	2,0
Відношення моментів $M_{\text{max}}/M_{\text{н}}$	2,3	2,1
Відношення струмів $I_{\text{пуск}}/I_{\text{н}}$	7,0	6,5
Термічний клас ізоляції обмоток	F – до 150°C	F – до 150°C
Ступінь захисту	IP54	IP54
Вага, кг	38,0	36,3

Крім зазначеного обладнання, у колі керування встановлені кнопкові пости керування **SB1**, **SB2**, кнопки керування **SB3- SB8**, проміжні реле **KL1- KL7**, перемикач режимів роботи (ручний, автоматичний) **SA1**, лампи світлової сигналізації.

5.2.1. Вибір автоматичних вимикачів

Вибираючи автоматичний вимикач для захисту електродвигуна, слід дотримуватися таких умов:

– номінальна напруга автоматичного вимикача має дорівнювати напрузі електричної мережі або перевищувати її:

$$U_{ас} \geq U_{м}; \quad (5.1)$$

– номінальний струм автоматичного вимикача має дорівнювати номінальному струму електродвигуна або трохи перевищувати його:

$$I_{ном.ав.} \geq I_{ном.ел.дв.}; \quad (5.2)$$

– номінальний струм теплового й електромагнітного розчіплювачів має дорівнювати номінальному струму електродвигуна або трохи перевищувати його з подальшим регулюванням струму неспрацювання теплового розчіплювача на номінальний струм електродвигуна:

$$I_{ном.розч.} \geq I_{ном.ел.дв.}; \quad (5.3)$$

– струм відсічки електромагнітного розчіплювача має становити не менш як 1,5...1,6 від пускового струму електродвигуна:

$$I_{від.розч.} \geq (1,5...1,6) I_{пус.}; \quad (5.4)$$

За вказаними умовами для відповідних електродвигунів були вибрані наступні автоматичні вимикачі (табл. 5.3).

Таблиця 5.3.

Вибір автоматичних вимикачів

Електродвигун	Автоматичний вимикач, виконання умов
<p>АИР100S4УЗ (М3) Потужність 3,0 кВт Струм $I_n = 6,8A$ Пусковий струм $I_{пуск} = 7 \cdot 6,8 = 47,6A$ $1,6 \cdot I_{пуск} = 76,16A$</p>	<p>іК60N С 20А ЗР (трифазний, з електромагнітним розчіплювачем) $U_{ав} = 400В, U_{ав} \geq U_m; 400В > 380В$ $I_{ном.ав} = 20A; I_{ном.ав.} \geq I_{ном.ел.дв.}; 20A > 6,8A$ $I_{ном.розч.} = (5...10) I_{ном.ав} = (100...200)A$ $I_{ном.розч.} \geq I_{ном.ел.дв.}; (100...200)A > 6,8A$ $I_{від.розч.} \geq (1,5...1,6) I_{пус.}$ $(100...200)A > 76,16A$</p>
<p>АИР180М8УЗ (М1) Потужність 15,0 кВт Струм $I_n = 34,1A$ Пусковий струм $I_{пуск} = 6,6 \cdot 34,1 = 225,06A$ $1,6 \cdot I_{пуск} = 360,1A$</p>	<p>GV2ME36 (трифазний, з електромагнітним та тепловим розчіплювачами) $U_{ав} = 690В, U_{ав} \geq U_m; 690В > 380В$ $I_{ном.ав} = 36A; I_{ном.ав.} \geq I_{ном.ел.дв.}; 36A > 34,1A$ $I_{ном.розч.} = 416A, I_{ном.розч.} \geq I_{ном.ел.дв.}; 416A > 34,1A$ $I_{від.розч.} \geq (1,5...1,6) I_{пус.}, 416A > 360,1A$ Регулювання захисту теплових розчіплювачів 28...36A</p>

Таблиця 5.3.

Вибір автоматичних вимикачів (продовження)

Електродвигун	Автоматичний вимикач, виконання умов
АИР132S4У3 (М2) Потужність 7,5 кВт Струм $I_n = 15,6\text{А}$ Пусковий струм $I_{\text{пуск}} = 7 \cdot 15,6 = 109,2\text{А}$ $1,6 \cdot I_{\text{пуск}} = 174,7\text{А}$	GV2ME21 (трифазний, з електромагнітним та тепловим розчіплювачами) $U_{ав} = 690\text{В}, U_{ав} \geq U_m; 690\text{В} > 380\text{В}$ $I_{ном.ав} = 23\text{А}; I_{ном.ав} \geq I_{ном.ел.дв}; 23\text{А} > 15,6\text{А}$ $I_{ном.розч} = 327\text{А}, I_{ном.розч} \geq I_{ном.ел.дв}; 327\text{А} > 15,6\text{А}$ $I_{від.розч} \geq (1,5...1,6) I_{пус.}, 327\text{А} > 174,7\text{А}$ Регулювання захисту теплових розчіплювачів 17...23А
АИР100L6У3 (М4, М5, М6) Потужність 2,2 кВт Струм $I_n = 5,6\text{А}$ Пусковий струм $I_{\text{пуск}} = 6,5 \cdot 5,6 = 36,4\text{А}$ $1,6 \cdot I_{\text{пуск}} = 58,24\text{А}$	GV2ME10 (трифазний, з електромагнітним та тепловим розчіплювачами) $U_{ав} = 690\text{В}, U_{ав} \geq U_m; 690\text{В} > 380\text{В}$ $I_{ном.ав} = 6,3\text{А}; I_{ном.ав} \geq I_{ном.ел.дв}; 6,3\text{А} > 5,6\text{А}$ $I_{ном.розч} = 78\text{А}, I_{ном.розч} \geq I_{ном.ел.дв}; 78\text{А} > 5,6\text{А}$ $I_{від.розч} \geq (1,5...1,6) I_{пус.}, 78\text{А} > 58,24\text{А}$ Регулювання захисту теплових розчіплювачів 4...6,3А

При виборі автоматичного вимикача для захисту ПЛК та кола керування, необхідно дотримуватись наступних умов:

– номінальна напруга автоматичного вимикача має дорівнювати напрузі живлення електричної мережі або перевищувати її

$$U_{н.ав} \geq U_{ж}; \quad (5.5)$$

– номінальний струм автоматичного вимикача повинен дорівнювати або перевищувати робочий струм ПЛК та кола керування

$$I_{н.ав} > I_{к.кер}, \quad (5.6)$$

– номінальний струм електромагнітного розчіплювача повинен дорівнювати або перевищувати номінальний струм ПЛК та кола керування

$$I_{н.розч} > I_{к.кер}; \quad (5.7)$$

– струм відсічки електромагнітного розчіплювача має становити не менше 1,5...1,6 робочого струму ПЛК та кола керування

$$I_{ВДС.РОЗЧ} > (1,5...1,6) \cdot I_{К.КЕР} \quad (5.8)$$

Автоматичний вимикач QF7 захищає блок живлення G (Hager ST312 230/24В, номінальний струм споживання 1,04А) та проміжні реле напруги KL1-KL7 (MY4-NS 24V DC із напругою живлення 24В постійного струму та споживаною потужністю 0,9Вт, тобто струмом споживання $0,9/24 = 0,0375$ А, із загальним струмом споживання $7 \cdot 0,0375 = 0,26$ А). Струм споживання кола керування дорівнює $1,04 + 0,26 = 1,3$ А. Тому для захисту кола керування вибраний автоматичний вимикач **іК60N С 2А** із номінальним струмом 2А, двохполюсний, із струмом відсічки електромагнітних розчіплювачів $(5...10)I_n$. Умова 5.8 виконується:

$$I_{ВДС.РОЗЧ} > (1,5...1,6) \cdot I_{К.КЕР}$$

$$(5...10) \cdot 2 > (1,5...1,6) \cdot 1,3\text{А}; \quad 10...20\text{А} > 1,95...2,08\text{А}.$$

5.2.2. Вибір електромагнітних пускачів

Електромагнітні пускачі вибирають за наступними умовами:

- номінальна напруга електромагнітного пускача має дорівнювати напрузі живлення електричної мережі або перевищувати її

$$U_{Н.ЕП} \geq U_{Ж}; \quad (5.9)$$

- номінальний струм комутації силових контактів електромагнітного пускача повинен дорівнювати або перевищувати номінальний струм груп електродвигунів

$$I_{Н.ЕП} \geq I_{Н}; \quad (5.10)$$

- номінальна напруга живлення втягувальної котушки електромагнітного пускача повинна дорівнювати напрузі кола керування

$$U_{Н.КОТ} \geq U_{КЕР}. \quad (5.11)$$

- за струмом теплового реле та за струмом неспрацювання теплового реле.

За вказаними умовами для відповідних електродвигунів були вибрані наступні електромагнітні пускачі (табл. 5.4).

Таблиця 5.4.

Вибір електромагнітних пускачів

Електродвигун	Електромагнітний пускач,
АИР100S4УЗ (М3) Потужність 3,0 кВт Струм $I_H = 6,8\text{А}$	LC1D12M7 (трифазний, з 1NO+1NC допоміжними контактами) $U_{H.EП} \leq 690\text{В}, 25\dots 400\text{Гц}, 300\text{В пост.стр.}$ $U_{H.EП} \geq U_{Ж}; 690\text{В} > 380\text{В}$ $I_{H.EП} = 12\text{А}; I_{H.EП} \geq I_{ном.ел.дв}; 12\text{А} > 6,8\text{А}$ $U_{H.КОТ} \geq U_{КЕР}; 690 > 220\text{ В}$
АИР180М8УЗ (М1) Потужність 15,0 кВт Струм $I_H = 34,1\text{А}$	LC1D40M7 (трифазний, з 1NO+1NC допоміжними контактами) $U_{H.EП} \leq 690\text{В}, 25\dots 400\text{Гц}, 300\text{В пост.стр.}$ $U_{H.EП} \geq U_{Ж}; 690\text{В} > 380\text{В}$ $I_{H.EП} = 40\text{А}; I_{H.EП} \geq I_{ном.ел.дв}; 40\text{А} > 34,1\text{А}$ $U_{H.КОТ} \geq U_{КЕР}; 690 > 220\text{ В}$
АИР132S4УЗ (М2) Потужність 7,5 кВт Струм $I_H = 15,6\text{А}$	LC1D18M7 (трифазний, з 1NO+1NC допоміжними контактами) $U_{H.EП} \leq 690\text{В}, 25\dots 400\text{Гц}, 300\text{В пост.стр.}$ $U_{H.EП} \geq U_{Ж}; 690\text{В} > 380\text{В}$ $I_{H.EП} = 18\text{А}; I_{H.EП} \geq I_{ном.ел.дв}; 18\text{А} > 15,6\text{А}$ $U_{H.КОТ} \geq U_{КЕР}; 690 > 220\text{ В}$

Таблиця 5.4.

Вибір електромагнітних пускачів (продовження)

Електродвигун	Електромагнітний пускач,
АИР100L6УЗ (М4, М5, М6) Потужність 2,2 кВт Струм $I_H = 5,6\text{А}$	LC1D09M7 (трифазний, з 1NO+1NC допоміжними контактами) $U_{H.EП} \leq 690\text{В}, 25\dots 400\text{Гц}, 300\text{В пост.стр.}$ $U_{H.EП} \geq U_{Ж}; 690\text{В} > 380\text{В}$ $I_{H.EП} = 9\text{А}; I_{H.EП} \geq I_{ном.ел.дв}; 9\text{А} > 5,6\text{А}$ $U_{H.КОТ} \geq U_{КЕР}; 690 > 220\text{ В}$

5.2.3. Вибір проміжних реле

Проміжні реле для кола управління вибирають

- за напругою кола керування:

$$U_{Н.РЕЛЕ} \geq U_{К.УПР}; \quad (5.12)$$

- струм кола управління повинен дорівнювати або бути меншим за номінальний струм реле:

$$I_{Н.РЕЛЕ} \geq I_{К.УПР}; \quad (5.13)$$

- за кількістю та призначенням допоміжних контактів (нормально розімкнені, нормально замкнені, перемикаючі).

За вказаними умовами вибрані проміжні реле напруги **MY4-NS 24V DC** із напругою живлення 24В постійного струму, номінальною напругою комутації кола керування 220В, номінальним струмом комутації кола керування 5А, споживаною потужністю 0,9Вт, струмом споживання $0,9/24 = 0,0375$ А.

Відомість електроприладів САК конвеєрною зерносушаркою матиме наступний вигляд (табл. 5.5).

Таблиця 5.5.

Відомість електроприладів САК конвеєрною зерносушаркою *Alvan Blanch*

Познач.	Назва	Кільк.	Примітки
M1	Електродвигун асинхронний трифазний АИР180М8У3	1	15кВт
M2	Електродвигун асинхронний трифазний АИР132S4У3	1	7,5кВт
M3	Електродвигун асинхронний трифазний АИР100S4У3	1	3,0кВт
M4-6	Електродвигун асинхронний трифазний АИР100L6У3	3	2,2кВт
QF1	Вимикач автоматичний іК60N С 20А	1	3п
QF2	Вимикач автоматичний GV2ME36	1	3п
QF3	Вимикач автоматичний GV2ME21	1	3п
QF4-6	Вимикач автоматичний GV2ME10	3	3п
QF7	Вимикач автоматичний іК60N С 2А	1	2п

U1	Частотний перетворювач ATV312HU30N4	1	
D1.1	Модульний ПЛК Modicon M238 TM238LFDC24DT	1	
D1.2-3	Датчик рівня зерна ДПУ-10	2	
D1.4-5	Модуль розширення аналогових входів TM2AMI4LT	2	
D1.6-9	Датчик температури (термометр опору) ДТС125	4	
D1.10-11	Датчик вологості зерна PCE-A-315	2	
D1.12	Модуль розширення релейних виходів TWDDRA8RT	1	
KM1	Пускач електромагнітний LC1D12M7	1	1NC+1NO
KM2	Пускач електромагнітний LC1D40M7	1	1NC+1NO
KM3	Пускач електромагнітний LC1D18M7	1	1NC+1NO
KM4-7	Пускач електромагнітний LC1D09M7	4	1NC+1NO
G	Блок живлення Hager ST312 230/24В	1	
KL1-7	Реле напруги проміжне MY4-NS 24V DC	7	
SB1-2	Кнопковий пост "Старт-Стоп" ZB5 AW833743	2	NO, NC
SB3-8	Кнопка "Старт" ZB5 A333	6	NO
SA1	Перемикач пакетний K1I023NLH	1	3 положення
HL1-7	Лампа сигнальна A22-RLF-RT 220V	7	червона
HL8-16	Лампа сигнальна AD22-22DS 24V	9	зелена
R1-4	Резистор 2кОм	3	

5.3. Вибір проводів та кабелів

Площу поперечного перерізу жил проводів, шнурів і кабелів вибирають за тривало допустимим струмом

$$I_{\text{тр.доп}} \geq I_{\text{розр}}, \quad (5.14)$$

де $I_{\text{розр}}$ - розрахунковий струм ділянки електричної мережі, А.

Для відгалужень до окремих електроспоживачів за максимальні тривалі робочі струми беруть їх номінальні струми.

Для трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором тривало допустимий струм визначається за формулою

$$I_{\text{розр.дв}} = \frac{10^3 P_{\text{н.дв}}}{\sqrt{3} U_{\text{н}} \eta_{\text{н}} \cos \varphi_{\text{н}}}. \quad (5.15)$$

Тривало допустимі струми для асинхронних трифазних електродвигунів:

$$\begin{aligned}
 \text{АИР180М8У3 (М1)} \quad I_{\text{РОЗР.ДВ}} &= \frac{1000 \cdot 15}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,88 \cdot 0,76} = 34,08 \text{ А.} \\
 \text{АИР132S4У3 (М2)} \quad I_{\text{РОЗР.ДВ}} &= \frac{1000 \cdot 7,5}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,87 \cdot 0,84} = 15,59 \text{ А.} \\
 \text{АИР100S4У3 (М3)} \quad I_{\text{РОЗР.ДВ}} &= \frac{1000 \cdot 3,0}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,826 \cdot 0,82} = 6,73 \text{ А.} \\
 \text{АИР100L6У3 (М4-6)} \quad I_{\text{РОЗР.ДВ}} &= \frac{1000 \cdot 2,2}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,79 \cdot 0,76} = 5,57 \text{ А.}
 \end{aligned}$$

Враховуючи умову (5.14) та розраховані значення тривало допустимих струмів, для підключення електродвигунів із апаратами для пуску і захисту вибрані такі кабелі (таблиця 5.6).

Таблиця 5.6.

Вибір кабелів живлення електродвигунів

Електродвигун	Кабель	Найбільший тривало допустимий струм навантаження, А
АИР180М8У3 (М1) $I_{\text{РОЗР.ДВ}} = 34,08 \text{ А.}$	АВВГ 4x10	39
АИР132S4У3 (М2) $I_{\text{РОЗР.ДВ}} = 15,59 \text{ А.}$	АВВГ 4x2,5	19
АИР100S4У3 (М3) $I_{\text{РОЗР.ДВ}} = 6,73 \text{ А.}$	АВВГ 4x2,5	19
АИР100L6У3 (М4-6) $I_{\text{РОЗР.ДВ}} = 5,57 \text{ А.}$	АВВГ 4x2,5	19

Струм кола керування дорівнює 1,3А тому для його живлення вибираємо провід ПВ1x0,5 – тривало допустимий струм якого дорівнює 11 А.

Для підключення датчиків температури та вологості повітря використовується провід МГТФЕ 3x0,12.

Для вибору кабелю живлення шафи керування необхідно скористатись наступною умовою

$$I_{M.ROZR.} = K_o \cdot \sum I_{ROZR.DB} + I_{KEP}, \quad (5.16)$$

де K_o – коефіцієнт одночасності роботи споживачів електроенергії (приймаємо, що усе обладнання працює одночасно, тому $K_o = 1$).

$$I_{M.ROZR.} = K_o \cdot \sum I_{ROZR.DB} + I_{KEP} = 34,08 + 15,59 + 6,73 + 3 \cdot 5,57 + 1,3 = 74,41 \text{ A.}$$

Для живлення шафи керування вибраний кабель АВРГ4х35, з тривало допустимим струмом 85А.

5.4. Розробка електричних схем з'єднань та підключень системи керування конвеєрною зерносушаркою Alvan Blanch

Застосовують три способи виконання схем з'єднань: адресний, графічний і табличний. Для перших двох, крім зазначених вище правил, слід виконувати ще декілька:

Адресний спосіб є найбільш поширеним і полягає в тому, що лінії зв'язку між окремими елементами апаратів, які встановлюють на щиті або на пульті, не показують, а замість цього у місці приєднання проводу на кожному апараті або елементі проставляють цифрову або літерно-цифрову адресу того апарата або елемента, з яким він електрично має бути зв'язаний (позиційне позначення згідно з принциповою схемою) або порядковий номер елемента.

Схема електрична з'єднань САК конвеєрною зерносушаркою зображена на рис. 5.5, схема електрична підключень – на рис. 5.6 та 5.7.

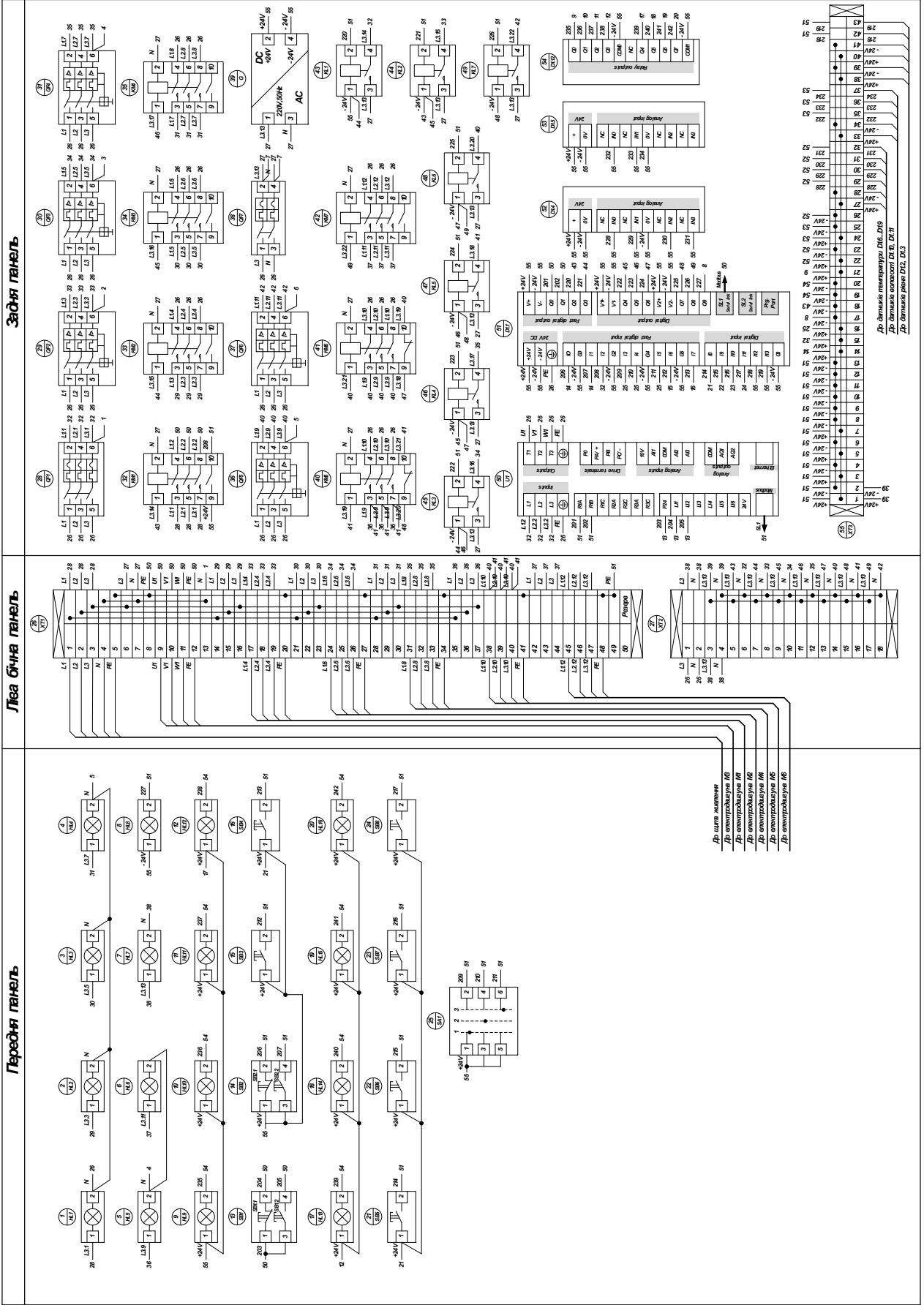


Рис. 5.5. Система автоматичного керування конвеєрною зерношаркою Alvan Blanch . Схема електрична з'єднань

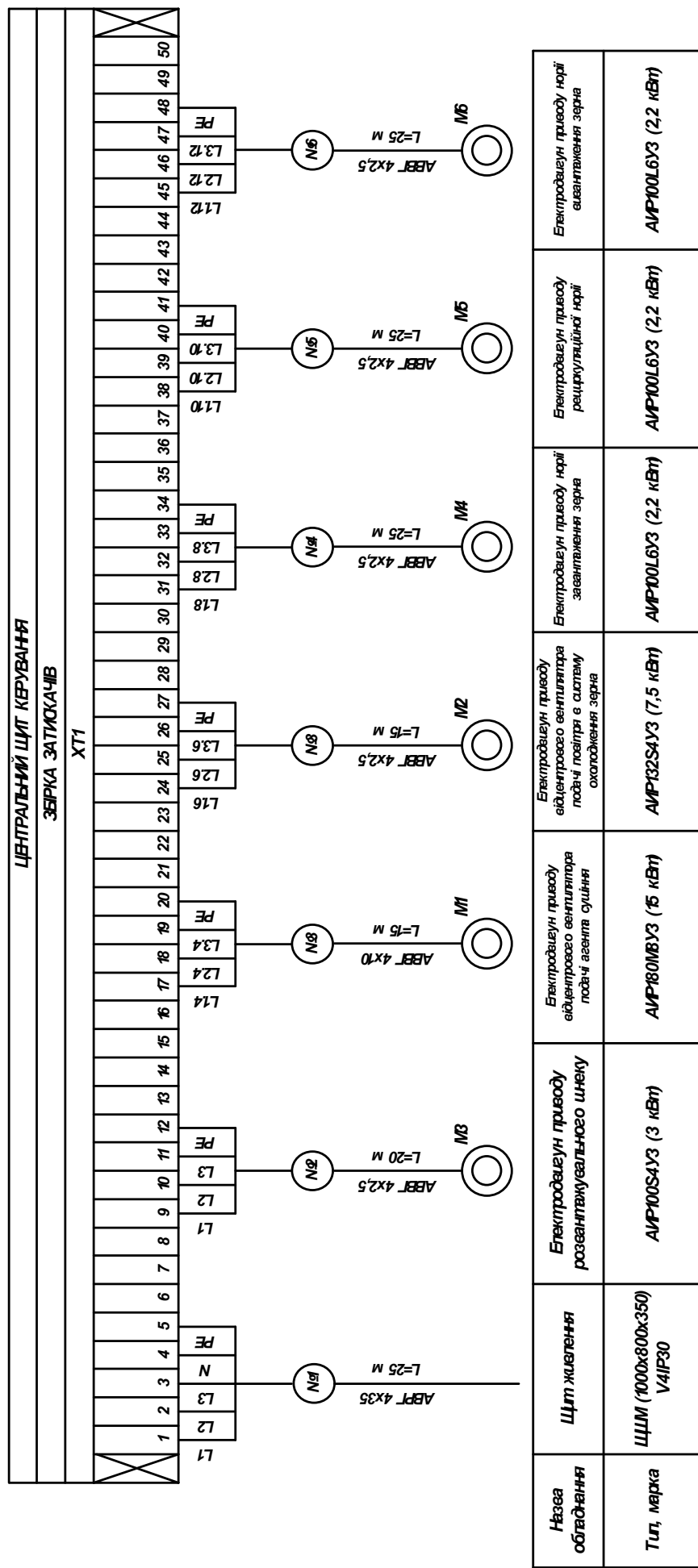
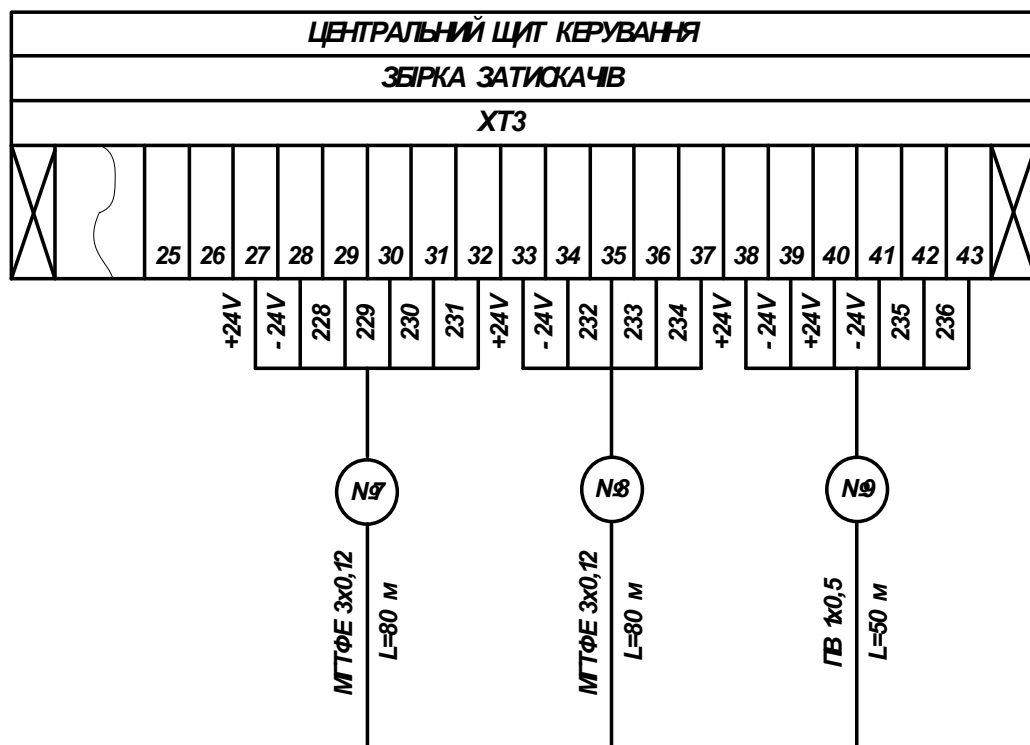


Рис. 5.6. Система автоматичного керування конвеєрною зерношаркою. Схема електрична підключень



Назва обладнання	Датчик температури (4 шт)	Датчик вологості зерна (2 шт)	Датчик рівня зерна у наосушлинному бункері (2 шт)
Тип, марка	ДТС125	РСЕ-А-315	ДГУ-10

Рис. 5.7. Система автоматичного керування конвеєною зерносушаркою.

Схема електрична підключень (продовження)

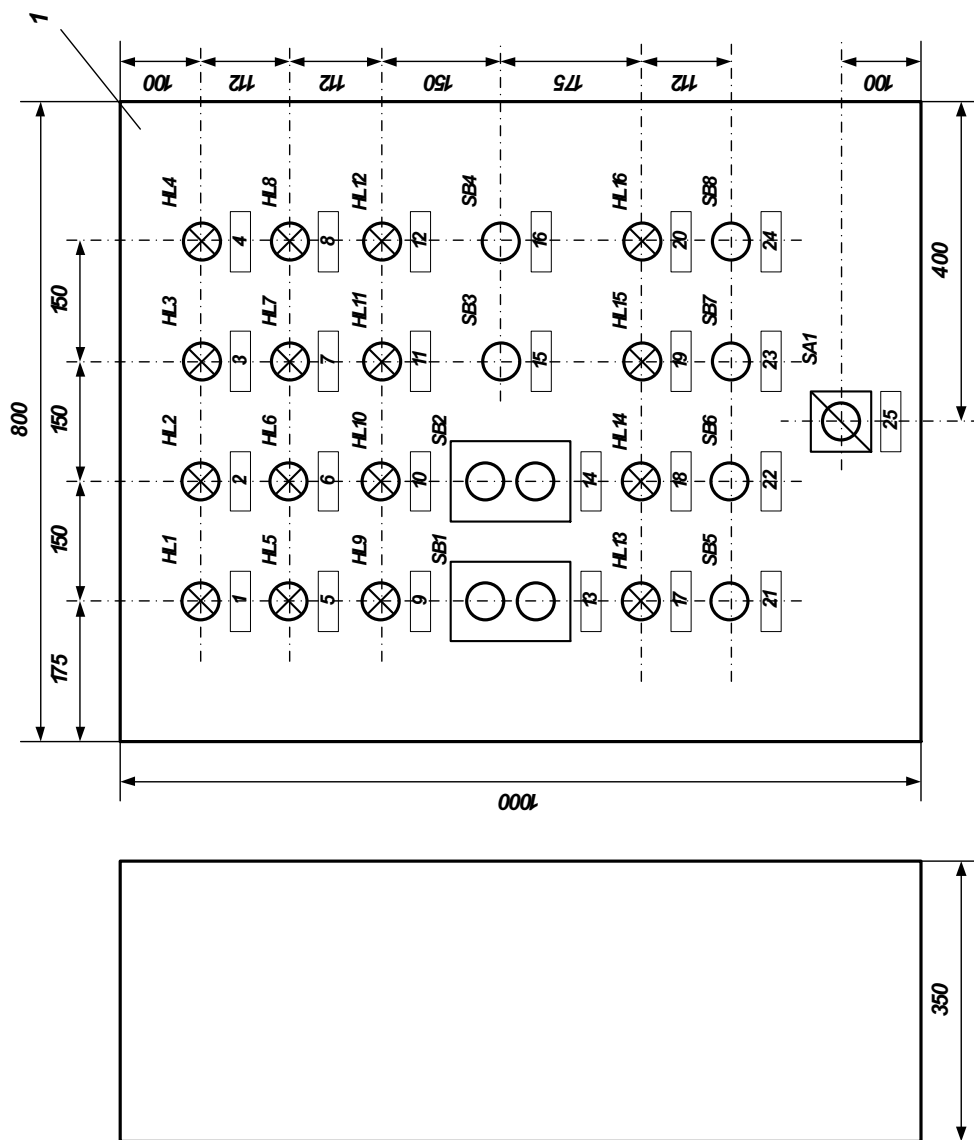
5.5. Вибір щита керування

Згідно з нормативними документами щити і пульти розраховано на розміщення їх у закритих приміщеннях із температурою навколишнього середовища від -30 до $+50^{\circ}\text{C}$ за відносної вологості не більше як 80%. Промисловість випускає також щити та пульти спеціального призначення, які розраховані на більш високі або низькі температури, підвищену вологість, наявність агресивного середовища тощо.

Враховуючи габаритні розміри пристроїв системи керування, а також ту обставину, що частотний перетворювач потребує певного повітряного

простору для внутрішнього вентилятора охолодження, вибираємо щит шафовий малогабаритний типу ЩШМ (1000x800x350)V4IP30 [34].

Зовнішній вигляд щита керування зображений на рис. 5.8.



Позн. познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
1	Щит керування ЩММ 1000х800х350	1	
HL1-7	Лампа світельна А22-RL-F-RT 220V	7	
HL8-16	Лампа світельна АД22-22DS 24V	9	
SB1-2	Кнопковий пост "Старт Стоп" ZB5 AM633743	2	NO NC
SB3-8	Кнопка "Старт" ZB5 A333	6	NO
SA1	Перемикач пакетний К1023N1H	1	

Надіписи на таблиці і в рамках			
Нمبر надпису	Надіпис	Розмір	Кількість
1	Розвантажувальний шинк	50x10	1
2	Навірвання зерна	50x10	1
3	Охолодження зерна	50x10	1
4	Норія завантаження зерна	50x10	1
5	Рециркуляційна норія	50x10	1
6	Норія евантаження зерна	50x10	1
7	Живлення кола керування	50x10	1
8	Живлення ПТК	50x10	1
9,15	Ручне керування М1	50x10	2
10,16	Ручне керування М2	50x10	2
11,17	Ручне керування М4	50x10	2
12,18	Ручне керування М5	50x10	2
13	Ручне керування М3	50x10	1
14	Старт ПТК (агрреж.)	50x10	1
21,19	Реверс М5	50x10	2
22,20	Ручне керування М6	50x10	2
25	Ручний 0 Автоматичний	50x10	1

Рис. 5.8. Система автоматичного керування консервною зерносушаркою. Зовнішній вигляд щита керування

РОЗДІЛ 6

РОЗРОБКА ЗАСОБІВ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

При візуалізації технологічного процесу керування було використано:

1. SCADA SYSTEM (TRACE MODE, Genesis);
2. Контролер з панеллю оператора;
3. Контролер з дисплеєм.

Системи диспетчеризації, керування та збору даних – SCADA є основним та найбільш перспективним методом автоматизованого керування складними динамічними системами та процесами у життєво важливих та критичних, з точки зору безпеки та надійності, областях. Тільки використання SCADA-систем дозволить здійснювати ефективне керування автоматизованими системами в промисловості енергетиці, та автоматизації.

В роботі було виконано візуалізацію інтерфейсу оператора за допомогою SCADA TRACE MODE, і розроблено автоматизовану систему керування процесом сушіння зернових.

Розроблена АСК дозволила виконувати такі етапи технологічного процесу сушки зернових культур:

- збір, обробка, отримання даних в режимі реального часу;
- відображення даних у цифровому та графічному вигляді (візуалізація);
- керування технологічним процесом сушіння;
- оптимізування витрати енергоресурсів;
- архівування (бази даних, бібліотека, паспортизація обладнання);
- оперативне інформування персоналу (тривоги та події);
- формування звітів, аналіз, планування.

Було розроблено графічний інтерфейс в SCADA- системі Trace Mode .
Він включає (рис. 6.1.):

1. Динамічні зображення: На першому екрані (рис. 6.1) оператор бачить схему процесу (роботу механізмів в цілому по всій сушарці) із зображенням обладнання. На другому екрані оператор оператор бачить параметри регулювання.
2. Керуючі елементи: За допомогою миші оператор може клацати на елементи управління (кнопки, перемикачі), щоб віддавати команди.
3. Відображення даних: Інформація про параметри (температуру, тиск, рівень) відображається в числовому вигляді, на графіках або таблицях.
4. Аларми: Система виділяє тривожні події, які потребують уваги оператора (рис. 6.6).

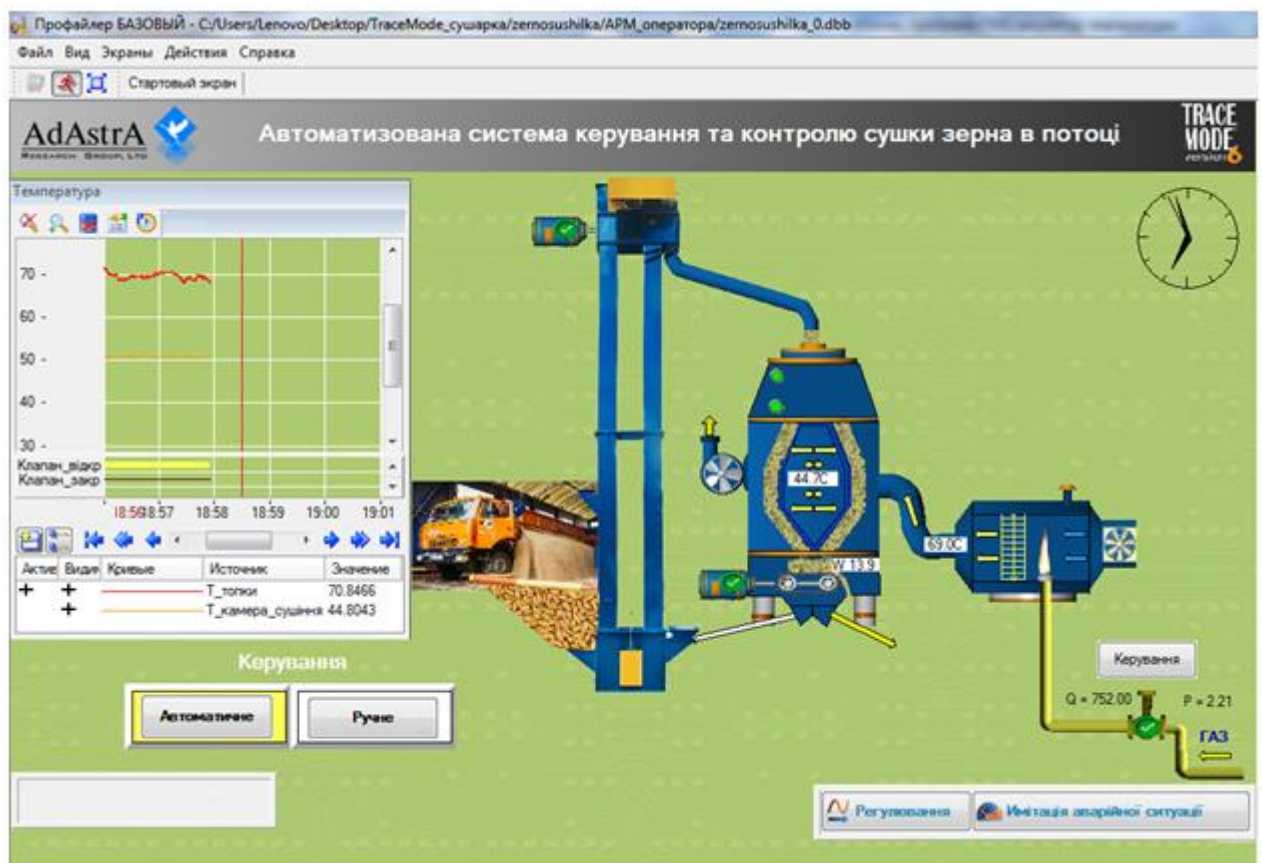


Рис. 6.1. Графічний інтерфейс системи в SCADA TRACE MODE

Тренд реального часу відображає в реальному часі динаміку зміни технологічного параметра. Тренд для відображення температури теплоносія топки та камери сушіння, представлений на рис. 6.2.

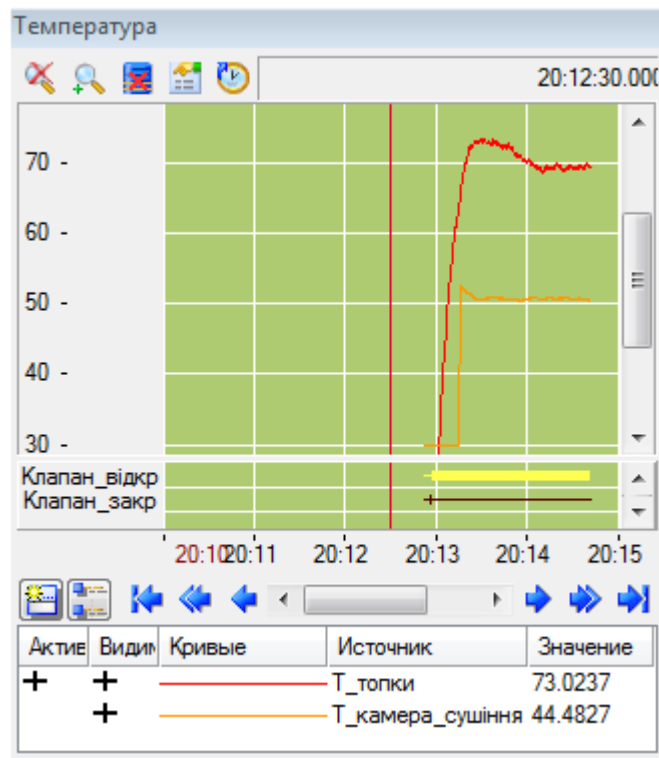


Рис. 6.2. Відображення показників температури у вигляді тренда

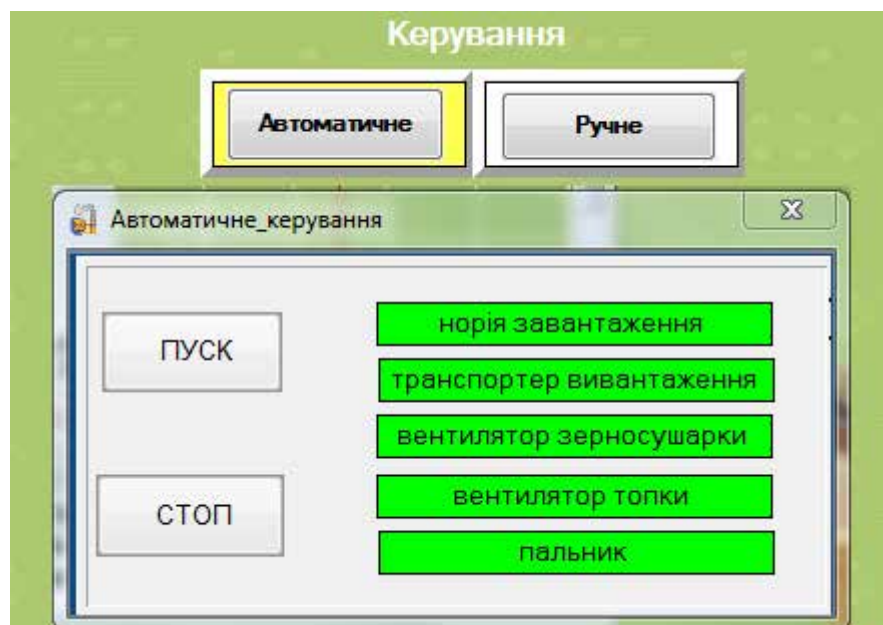


Рис. 6.3. Перемикання режимів роботи (автоматичний/ручний)

На рис. 6.3 зображено вікно режиму автоматичного керування (кнопки вмикання та вимикання), які передають сигнал на елементи програми керування.

На рис. 6.4 зображено вікно режиму ручного керування (кнопки вмикачів та вимикачів) які керують виконавчими механізмами сушарки.

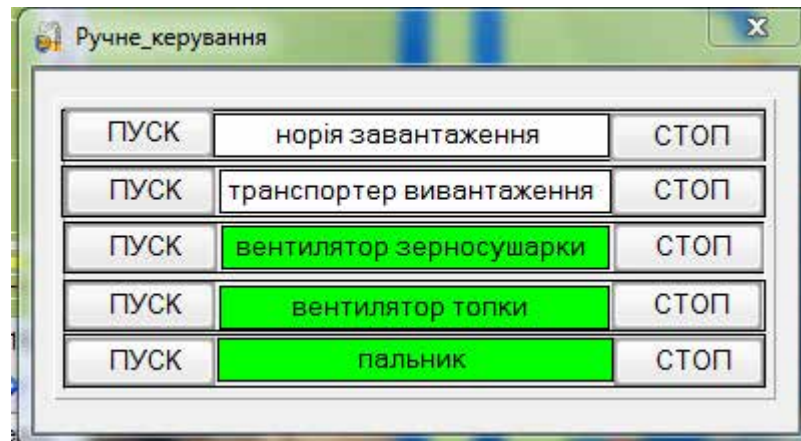


Рис. 6.4. Вікно режиму ручного керування механізмами сушарки

На рис. 6.5 зображено керування пальником теплогенератора в ручному режимі. Відображення інформації (стан, тиск, витрата) у вигляді кольорової індикації дозволяють стежити за подачею палива.

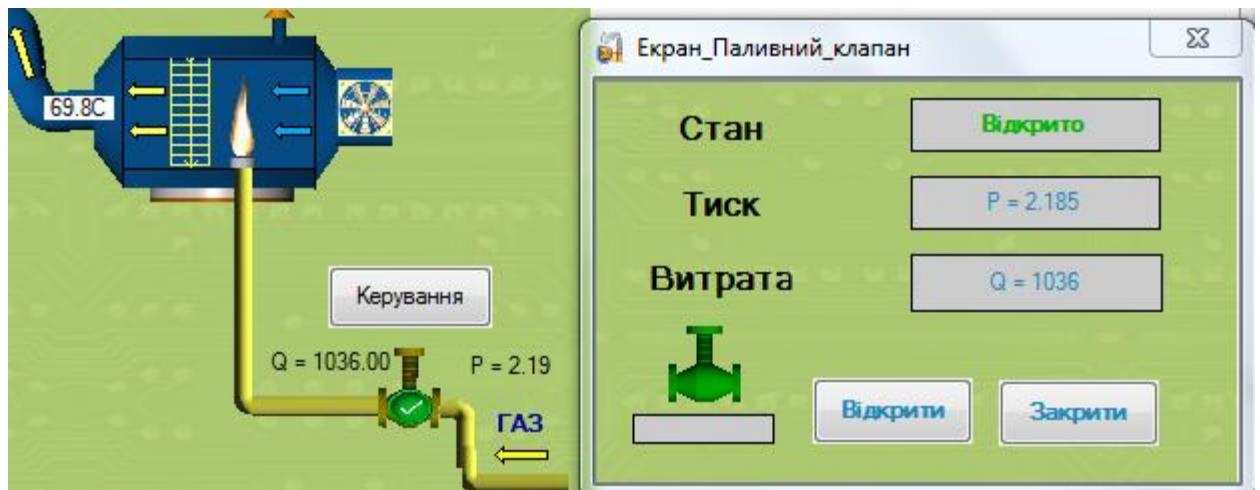


Рис. 6.5. Вікно керування пальником теплогенератора в ручному режимі

Під час процесу сушіння зерна SCADA-система дозволяє контролювати значення параметрів технологічного процесу. Вона повідомляє оператора про аварійну ситуацію. На рис. 6.6 зображено вікно імітації аварійної ситуації (близькості значення параметра зміни тиску палива до аварійного значення). Також світлову індикацію при падінні тиску за межі норми.

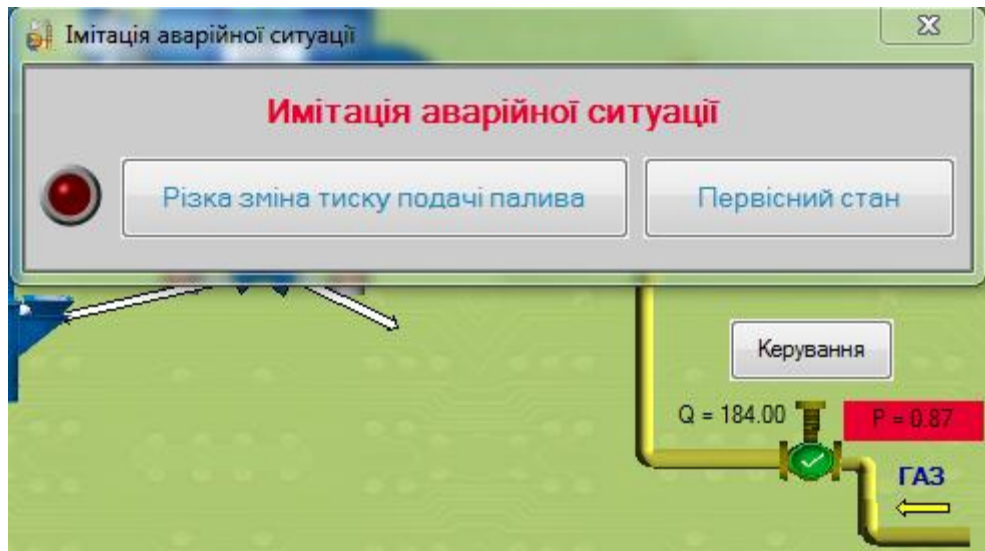


Рис. 6.6. Вікно імітації аварійної ситуації

На рис. 6.7 представлено екран керування. В ньому і відбувається завдання температура агента сушіння, тиску подачі палива, швидкості руху розвантажувального конвеєра.

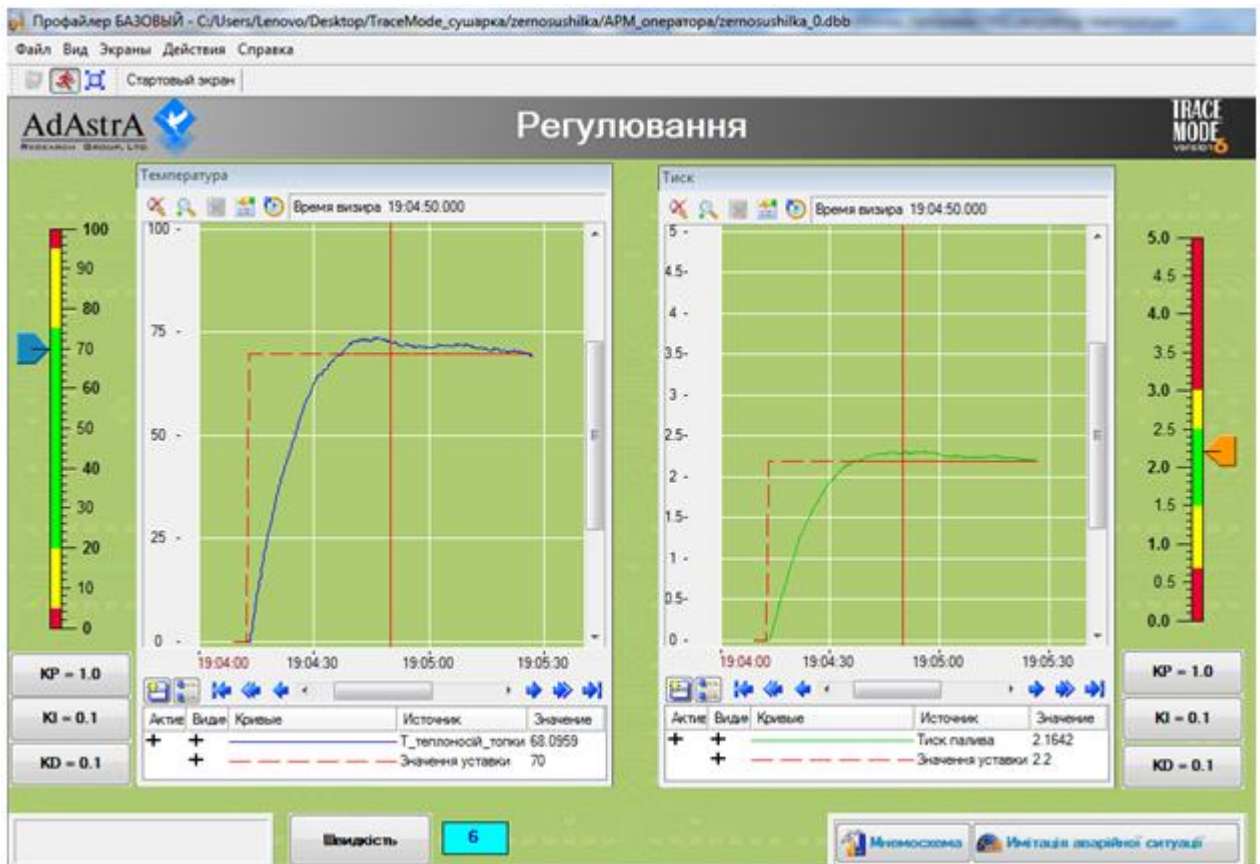


Рис. 6.7. Екран керування технологічними параметрами

Технологічним процесом сушіння керує програмно-логічний контролер MODICON TM238LFDC24DT.

Розробимо програму керування для контролера MODICON TM238LFDC24DT.

Прийmemo позначення для складання алгоритму функціонування:

X1 – пускач двигуна вентилятора сушарки;

X2 – пускач електродвигуна вентилятора охолодження;

X4 – пускач електродвигуна норії завантаження зерна;

X5 – пускач двигуна випускних пристроїв;

X6 – пускач двигуна вентилятора топки;

X7 – пускач двигуна насоса топки;

X9, X10 - виконавчий механізм заслінки;

X11, X12 - виконавчий механізм клапана;

X14 – перетворювач частоти;

b1 – вимикач, що фіксує кінцеве положення заслінки на вивантаженні;

b2– вимикач, що фіксує кінцеве положення заслінки на повторну сушку;
 b3– вимикач, що фіксує кінцеве положення клапана на повторне використання теплоносія;

b4– вимикач, що фіксує кінцеве положення клапана на викид теплоносія;

b5 – датчик нижнього рівня зерна;

b6 – датчик верхнього рівня зерна;

b7, b8 – датчики температури теплоносія в камере сушіння;

b9 – датчик вологості теплоносія;

b10 – датчик вологості зерна на виході;

z1 і z'1 – котушка і контакт програмного реле часу на розігрів сушарки;

z2 і z'2 – котушка і контакт програмного реле часу витримки на вивантаження зерна і зупинка сушарки.

Елементи системи, які будуть підключатися на входи та на виходи контролера (таблицю імен (рис. 6.8)).

	Name	Tag table	Data type	Address	Retain	Visibl.	Acces...	Comment
1	y1	Default tag table	Bool	%I0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	сигнал разрешения
2	b1	Default tag table	Bool	%I0.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	заслонка на выгрузку
3	b2	Default tag table	Bool	%I0.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	заслонка на повторную сушку
4	b3	Default tag table	Bool	%I0.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	клапан закрыт
5	b4	Default tag table	Bool	%I0.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	клапан открыт
6	b5	Default tag table	Bool	%I0.5		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	нижний уровень
7	b6	Default tag table	Bool	%I0.6		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	верхний уровень
8	x1	Default tag table	Bool	%Q0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	вентилятор сушки
9	x2	Default tag table	Bool	%Q0.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	вентилятор рециркуляции
10	x3	Default tag table	Bool	%Q0.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	нория загрузки
11	x4	Default tag table	Bool	%Q0.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	нория загрузки
12	x5	Default tag table	Bool	%Q0.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	выпускные устройства
13	x6	Default tag table	Bool	%Q0.5		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	вентилятор топки
14	x7	Default tag table	Bool	%Q0.6		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	насос топки
15	x9	Default tag table	Bool	%Q1.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	заслонка на выгрузку
16	x10	Default tag table	Bool	%Q1.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	заслонка на повторную сушку
17	x11	Default tag table	Bool	%Q8.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	клапан на рециркуляцию
18	x12	Default tag table	Bool	%Q8.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	клапан на выброс
19	x13.1	Default tag table	Bool	%Q8.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	малый огонь тг
20	x13.2	Default tag table	Bool	%Q8.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	большой огонь тг
21	b7	Default tag table	Int	%IW114		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	теплоноситель в камеру сушки
22	b8	Default tag table	Int	%IW118		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	температура в камере сушки
23	b9	Default tag table	Int	%IW130		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	влажность теплоносителя
24	b10	Default tag table	Int	%IW132		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	влажность на выходе
25	x14	Default tag table	Int	%QW128		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	пч

Рис. 6.8. Таблица входов і виходів контролера

За блок-схемою алгоритму роботи САК конвеєрною зерносушаркою Alvan Blanch (рис. 5.4) була розроблена програма на мові релейної, обраний контролер Modicon M238, запрограмований мовою релейно-контактної логіки (сходових діаграм LD).

Програма має наочний графічний інтерфейс (логічні операції, як електричний ланцюг з замкнутими і розімкнутими контактами).

Програма керування для контролера приведена в додатку Б.

РОЗДІЛ 7

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Розроблена САК конвеєрною зерносушаркою Alvan Blanch має забезпечувати підвищення продуктивності праці, зменшення енергоємності та собівартості продукції, терміну окупності капітальних витрат.

Показником ефективності капітальних вкладень є розрахункові витрати, які враховують: річні експлуатаційні витрати, частка капіталовкладень, що припадає на один рік.

Зведені витрати:

$$B_{зв} = C + E_H \cdot K, \quad (7.1)$$

де: $B_{зв}$ – зведені витрати, грн./рік;

C – річні експлуатаційні витрати, грн./рік;

K – капітальні витрати, грн.;

E_H – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, приймають $E_H = 0,15$.

Експлуатаційні витрати:

- витрати на оплату праці (C_3);
- утримання засобів виробництва (C_v);
- оплата електроенергії (C_E);
- інші прямі витрати (C_l).

Витрати на оплату праці персоналу з експлуатації систем автоматизації ($C_3 = 68$ грн./год. з 01.10.2025 р.).

Витрати на утримання основних засобів виробництва C_v складаються з відрахувань на амортизацію C_A (приймають $C_A = 14,2\%$), відрахувань на поточний ремонт $C_{пр}$ (приймають $C_{пр} = 18\%$).

Витрати на електроенергію (приймається у розмірі 4,32 грн./кВт·год. за цінами 2025 року):

$$C_E = P_{СП} \cdot \Gamma \cdot 4,32, \quad (7.2)$$

де $P_{СП}$ – потужність споживачів електроенергії;

T – кількість годин роботи споживачів на рік.

Інші прямі витрати (1% від загальної суми експлуатаційних витрат):

$$C_I = 0,01 \cdot (C_3 + C_A + C_{PP} + C_E). \quad (7.3)$$

Капітальні витрати:

– вартість ТЗА (K_3);

– торгівельно-транспортні та складські витрати (K_{TT});

– витрати на монтаж ТЗА (K_M);

– витрати на електропроводки (K_{PP});

– інші капітальні витрати, пов'язані зі здійсненням автоматизації (K_I).

Торгівельно-транспортні та складські витрати (11% від вартості ТЗА):

$$K_{TT} = 0,11 \cdot K_3. \quad (7.4)$$

Витрати на монтажні роботи (15...20% від вартості ТЗА). Для

$$K_M = 0,17 \cdot K_3. \quad (7.5)$$

Капітальні витрати (2% від вартості ТЗА):

$$K_I = 0,02 \cdot K_3. \quad (7.6)$$

Загальна вартість ТЗА:

$$K_3 = K_{ТЗА} + K_{П}, \quad (7.7)$$

$K_{ТЗА}$ – вартість ТЗА у складі САК, грн.;

$K_{П}$ – вартість плат та провідників, грн.

Вартість ТЗА визначається з кошторису САК (таблиця 7.1).

Загальна вартість технічних засобів автоматизації

№	Назва приладу	Тип	К-ть	Ціна/шт	Ціна
1	Автоматичний вимикач	IK60N C 20A	1	356	356
2	Автоматичний вимикач	GV2ME32	1	2559	2559
3	Автоматичний вимикач	GV2ME21	1	1259	1259
4	Автоматичний вимикач	GV2ME10	3	1335	4005
5	Автоматичний вимикач	IK60N C 2A	1	608	608
6	Частотний перетворювач	ATV312HU30N4	1	9715	9715
7	ПЛК Modicon M238	TM238LFDC24DT	1	7954	7954
8	Блок живлення	HDR-30-24	1	325.92	325.92
9	Датчик рівня	VEGAVIB 61	2	6240	12480
10	Датчик температури	ОВЕН ДТС125Л	4	180	720
11	Датчик вологості	TRIME-GW	2	284040	568080
12	Сигнальна лампа 220В	A22-RLF-RT	7	28	196
13	Контактор	LC1D09M7	1	858	858
14	Контактор	LC1D12M7	2	875	1750
15	Контактор	LC1D40M7	1	1500	1500
16	Сигнальна лампа 24В	AD22-22DS	9	37	333
17	Перемикач	K1I023NLH	1	1037	1037
18	Кнопка Старт/Стоп	ZB5 AW833743	2	180	360
19	Кнопка Старт	ZV5 A33	6	109	654
20	Реле проміжні	MY4-NS 24V DC	7	90	630
21	Модуль розширення	TM2AM14LT	2	10562	21124
22	Модуль розширення	TWDDRA8RT	1	1506	1506
23	Клемна збірка		2	290	580
24	Щит керування	ЩЖ1	1	2896	2896
ВСЬОГО					640905.9

Зведені витрати:

$$V_{ЗВ} = C + E_H \cdot K \quad (7.8)$$

Прибуток:

$$\mathcal{C} = \Delta C_3 + \Delta C_E, \quad (7.9)$$

де ΔC_3 – прибуток за рахунок економії заробітної плати, грн.;

ΔC_E – прибуток за рахунок економії електричної енергії, грн.

Термін окупності установки:

$$T_{\text{ОКУП}} = K / \mathcal{C} \quad (7.10)$$

Коефіцієнт ефективності капітальних вкладень:

$$E = 1 / T_{\text{ОКУП}} \quad (7.11)$$

В редакторі EXCEL розраховуємо термін окупності від впровадження САК конвеєрною зерносушаркою Alvan Blanch (таблиця 7.2).

Таблиця 7.2.

Розрахункова таблиця для знаходження терміну окупності від впровадження САК конвеєрною зерносушаркою Alvan Blanch

	Розрахункові значення	Од.	Відповідний коефіцієнт	Значення
1	Загальна вартість технічних засобів автоматизації			641485.9
2	Торгівельно-транспортні витрати		0.11	70563.45
3	Витрати на монтаж технічних засобів		0.17	109052.6
4	Витрати на прокладення проводок	150	17.67	2650.5
5	Інші капітальні витрати 2%		0.02	12829.72
6	Капітальні витрати			836582.2
7	Відрахування на амортизацію		0.15	125487.3
8	Витрати на поточний ремонт		0.18	150584.8
9	Витрати на енергоресурси		1.3	2733.12
	потужність автоматизації	1.46		
	кількість годин роботи	1440		
10	Витрати на оплату праці персоналу			86400
	кількість персоналу	2		
	ставка оператора	30		
11	Річні експлуатаційні витрати			365205.2
12	Зведені витрати		0.15	490692.6
13	Чистий прибуток			85233.6
	прибуток за рахунок зменшення персоналу			84153.6
	прибуток за рахунок зменшення браку			1080
	економія за рахунок підвищення якості	0.01%		
14	Термін окупності САК			1.815169

Прибуток складає 85233,6 грн.,

Термін окупності САК конвеєрною зерносушаркою Alvan Blanch складає 1,8 року.

Висновок: САК конвеєрною зерносушаркою Alvan Blan економічно ефективна і використовувати її доцільно.

ВИСНОВКИ

При виконанні магістерської роботи було вдосконалено САК ТП сушіння зерна у конвеєрній зерносушарці Alvan Blanch.

В результаті дослідження розроблено функціональну схему автоматизації СК конвеєрною зерносушаркою, обґрунтований вибір алгоритму керування об'єктом, розроблено імітаційну модель, створено операторський інтерфейс системи контролю та керування в SCADA TRACE MODE.

Перевірка якості функціонування САК виявила, що система є стійкою, час регулювання складає 3000с, відсутні статична похибка та перерегулювання.

Для реалізації системи автоматичного керування конвеєрною зерносушаркою Alvan Blanch обґрунтовано вибір ТЗА з використанням частотного перетворювача ATV312HU30N4, МПЛ Modicon M238 TM238LFDC24DT, розроблені електричні схеми: принципова, з'єднань, підключень, програмне забезпечення.

Строк окупності розробленої системи керування конвеєрною зерносушаркою Alvan Blanch складає 1,8 року. Впровадження розробленої САК доцільно.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гірник М. А. Механізація і автоматизація післязбиральної обробки зерна. - К.: Урожай, 1970. - 190с.
2. Драганов Б.Х. Использование возобновляемых и вторичных энергоресурсов в сельском хозяйстве. – Киев: Вища школа, 1988. – 56с.
3. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів / В. Лисенко, Є. Чернушенко, В. Решетюк, В. Мірошник, Н. Заєць, І. Цигульов – К.:Аграр Медіа Груп, 2016. – 476 с.
4. Кирпа Н.Я. Развитие и перспективы обработки и хранения зерна в Украине// Хранение и переработка зерна.- 2000. -№12. - С.25-26.
5. Корчемний М., Федорейко В., Щербань В. Енергозбереження в агропромисловому комплексі. - Тернопіль: Підручники & посібники, 2001. – 977с.
6. Мартыненко И.И, Головинкий Б.Л, Проценко Р.Д, Резниченко Т.Ф. Автоматика и автоматизация производственных процессов.М.:1985.-336с.
7. Мартыненко И.И. Лысенко В.Ф. Проектирование систем автоматизации. 2-е изд. перераб. и доп. - М.: Агропромиздат, 1990 г. - 243 с.
8. Навчальне видання: Методичні вказівки щодо оформлення матеріалів курсової роботи з дисциплін: "Проектування систем автоматизації", "Проектування систем електрифікації, автоматизації та енергопостачання АПК", "Проектування систем електрифікації та автоматизації АПК" / В.П. Лисенко, І.М. Болбот, О.І. Задорожній. – Київ, Видавничий центр НАУ, 2007. – 48 с.
9. Лисенко В.П., Решетюк В.М., Цигульов І.Т. Основи автоматизації: теорія і практика (ч.1). Видання 2-е, перероблене і доповнене. / Лисенко В.П., Решетюк В.М., Цигульов І.Т. – К.: Освіта України, 2013. – 720 с.
10. Остапчук Н.В., Шашкин А.Б., Каминский В.Д. Повышение Эффективности сушки зерна. - К.: Урожай, 1988. - 132 с.
11. агента сушки. - М.: ЦНИИТЭТ Хлебопродуктов, 1980. - 34с.
12. Регульований електропривод. Теорія. Моделювання: Навчальний посібник / І.М. Голодний, Ю.М. Лаврінченко, М.В. Синявський, В.В. Козирський, Л.С. Червінський, В.М. Решетюк, В.В. Савченко; За ред. І.М. Голодного. – 2-е вид., доп. і перероб. – К.: Аграр Медіа Груп, 2012. – 513с.: іл.
13. Каталог електродвигунів серії АІР [Електронний ресурс]
Режим доступу: https://air.com.ua/katalog_elektrovdigatelei_air/
14. Датчик рівня сипких продуктів [Електронний ресурс]
Режим доступу:
https://temix.com.ua/product/vibracionnyj_datchik_signalizator_predelnogo_urovnja_sypuchih_materialov_dpu-10
15. Зерносушарки потокові (поточні)
Режим доступу:
<https://ravaro.com.ua/products-ua/zernosusharki-potochni>

ДОДАТКИ

Додаток А

**Розрахункові дані для побудови розгінної та нормованої розгінної
характеристики конвеєрної зерносушарки
для каналу керування температурою сушіння зерна**

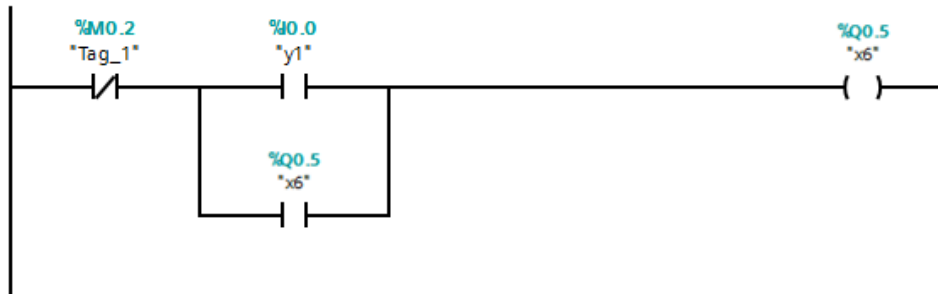
<i>Част t_i, c</i>	<i>Температура $T, ^\circ C$</i>	$y(t_i)$	<i>Част t_i, c</i>	<i>Температура $T, ^\circ C$</i>	$y(t_i)$
0	15,000	0	3100	49,653	0,889
100	17,126	0,055	3200	49,980	0,897
200	19,556	0,117	3300	50,286	0,905
300	21,830	0,175	3400	50,572	0,912
400	23,957	0,230	3500	50,839	0,919
500	25,947	0,281	3600	51,090	0,925
600	27,807	0,328	3700	51,324	0,931
700	29,548	0,373	3800	51,542	0,937
800	31,175	0,415	3900	51,747	0,942
900	32,698	0,454	4000	51,938	0,947
1000	34,122	0,490	4100	52,118	0,952
1100	35,453	0,524	4200	52,285	0,956
1200	36,699	0,556	4300	52,442	0,960
1300	37,864	0,586	4400	52,588	0,964
1400	38,954	0,614	4500	52,725	0,967
1500	39,973	0,640	4600	52,853	0,971
1600	40,926	0,665	4700	52,973	0,974
1700	41,818	0,688	4800	53,085	0,977
1800	42,651	0,709	4900	53,190	0,979
1900	43,431	0,729	5000	53,288	0,982
2000	44,161	0,748	5100	53,380	0,984
2100	44,843	0,766	5200	53,466	0,986
2200	45,481	0,782	5300	53,546	0,988
2300	46,078	0,797	5400	53,621	0,990
2400	46,636	0,811	5500	53,691	0,992
2500	47,158	0,825	5600	53,757	0,994
2600	47,647	0,837	5700	53,818	0,995
2700	48,103	0,849	5800	53,876	0,997
2800	48,531	0,860	5900	53,929	0,998
2900	48,930	0,870	6000	53,999	0,999
3000	49,304	0,880	6100	54,000	1,000

ДОДАТОК Б

Програма керування для контролера Modicon M238

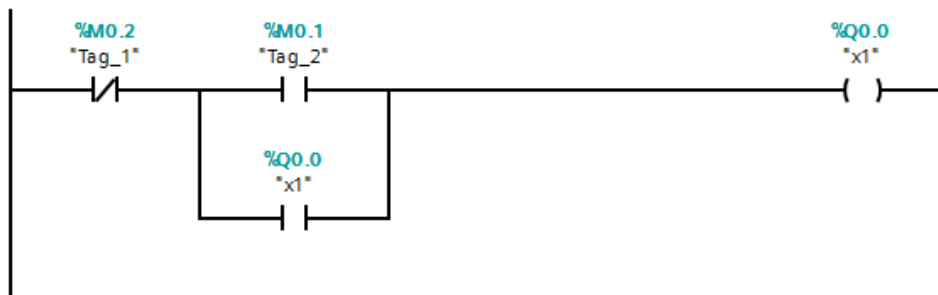
Network 1: вентилятор топки 1

Comment



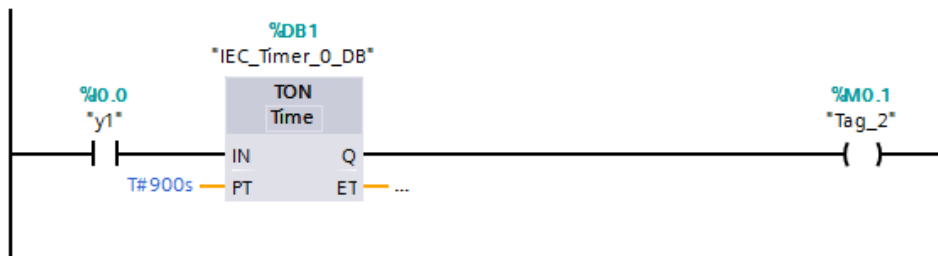
Network 2: вентилятор сушилки

Comment



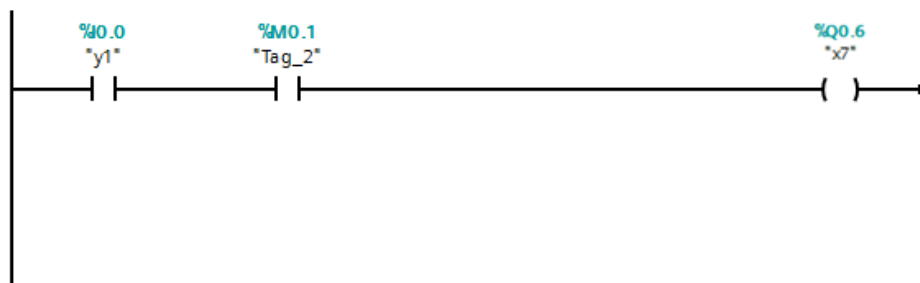
Network 3:

Comment



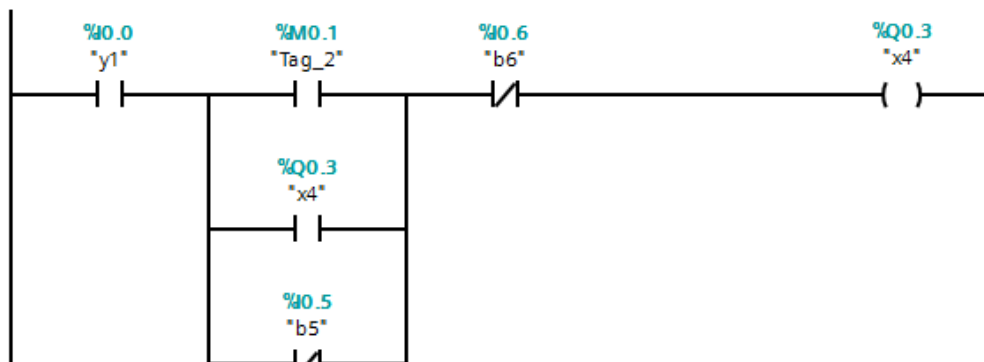
Network 4: насос топки 1

Comment



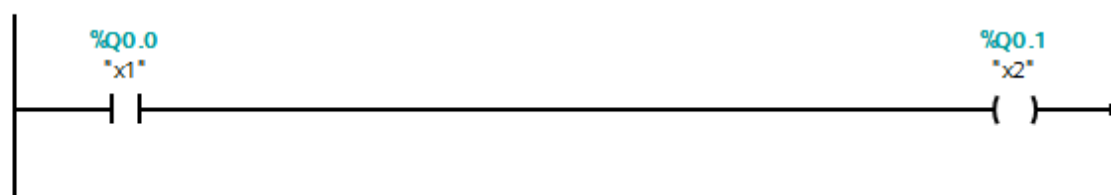
▼ **Network 5** нория загрузки зерна

Comment



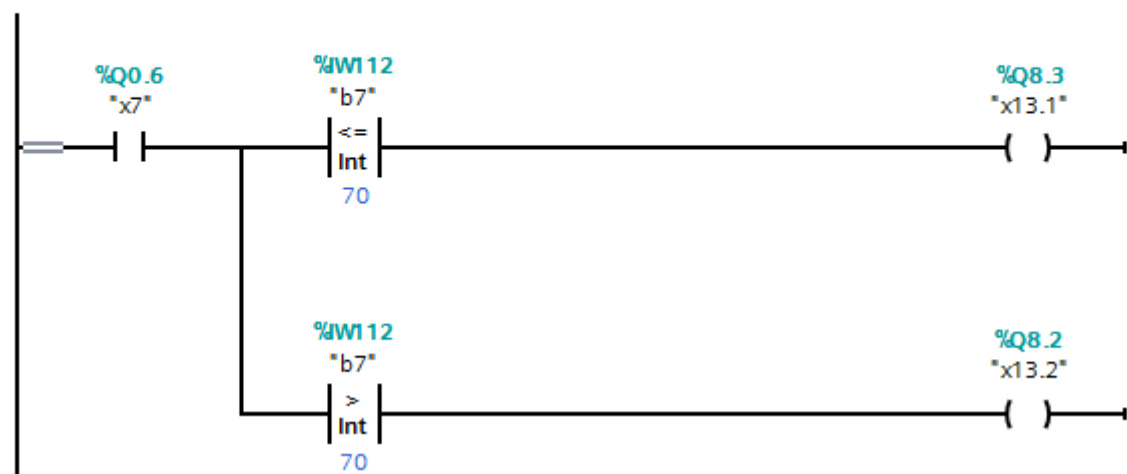
▼ **Network 6:** вентилятор рекупирации

Comment



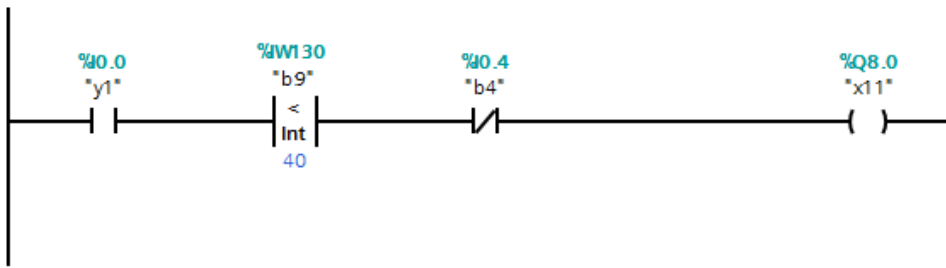
▼ **Network 7:** большой огонь тг

Comment



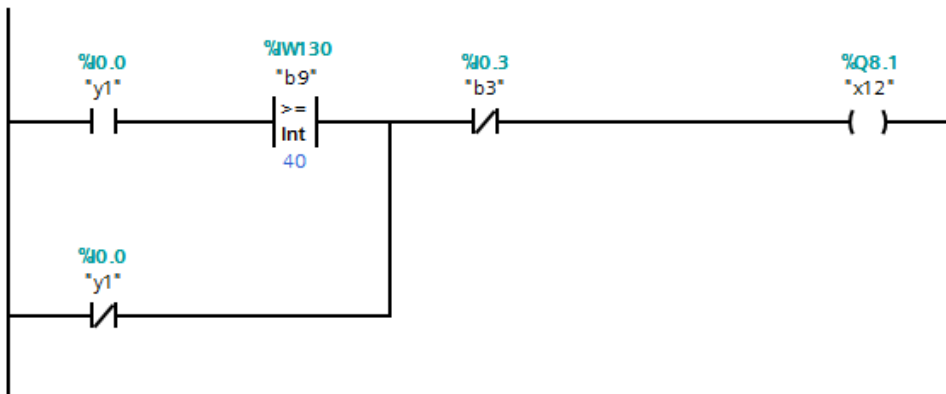
Network 8: клапан на рекупирацию

Comment



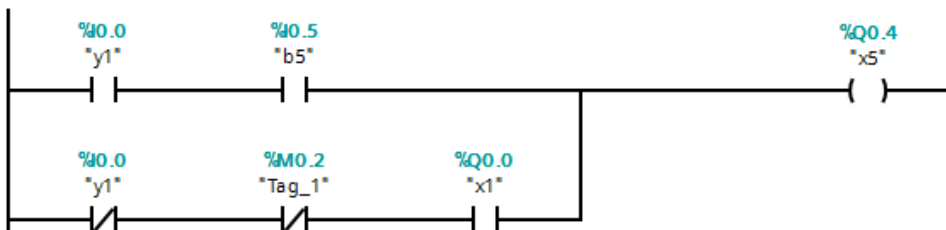
Network 9: клапан на выброс

Comment



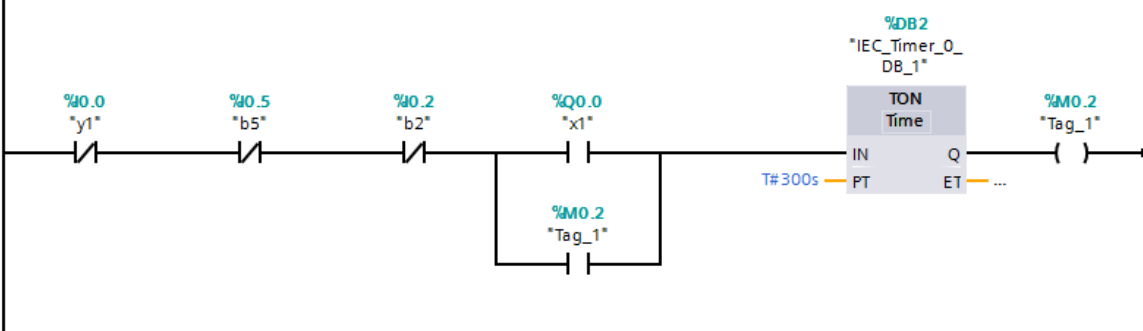
Network 10: выгрузка

Comment



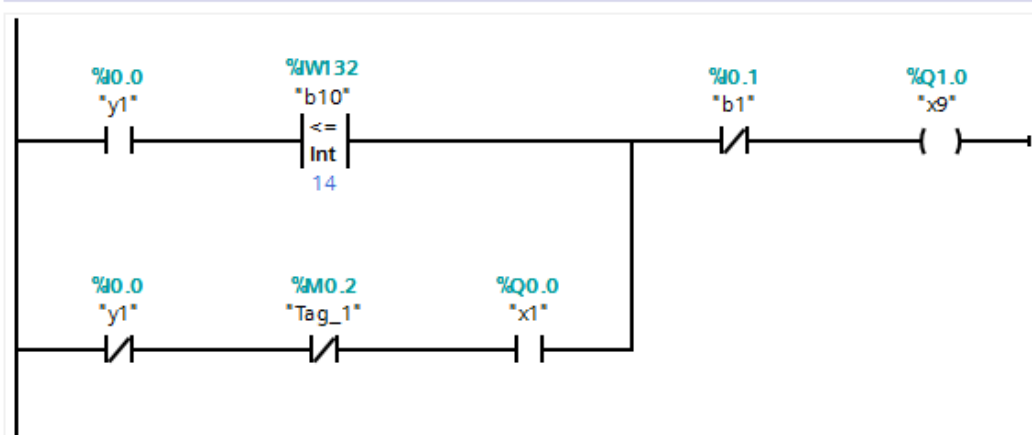
Network 13:

Comment



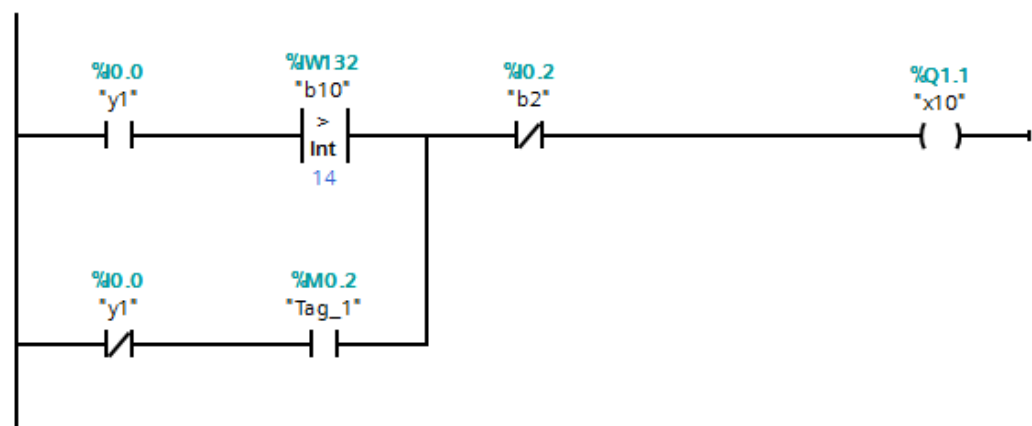
▼ **Network 11:** заслонка на выгрузку

Comment



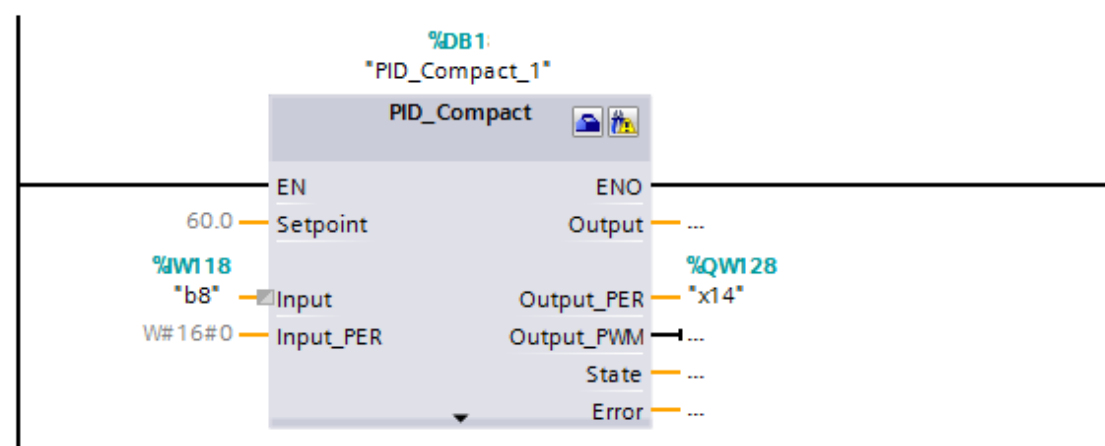
▼ **Network 12:** заслонка на повторную сушку

Comment



▼ **Network 14:**

Comment



ДОДАТОК В

**Функціональна схема автоматизації системи керування
конвеєрною зерносушкою Alvan Blanch**