Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
Кафедра комп’ютерних наук
Секція комп’ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри
_____ Довбиш А. С.
“____“_____“ 2018 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

за спеціальністю 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології"

SCADA-система забезпечення процесу зберігання зерна в силосі

Магістрант:
студент групи СУ.м-71 Хитренко О.О.

Керівник роботи:
к. т. н., доцент Кулінченко Г.В.

Суми – 2018

РЕФЕРАТ

Хитренко Олексій Олександрович. SCADA-система забезпечення процесу зберігання зерна в силосі. Магістерська робота. Сумський держаний університет. Суми, 2018 р.

Робота містить 83 сторінки, 36 рисунків, 15 таблиць, 2 додатки, конструкторську документацію, що містить 2 креслення. При виконанні дипломного проекту було використано 26 літературних джерел.

Розроблено функціональну схему автоматизації системи та схему інформаційно-матеріальних потоків. Складено алгоритм для керування виконавчими механізмами. Описано реалізацію SCADA-системи. Досліджено параметри регулятора кліматозабезпечення зерносховища. Обрано давачі та виконуючі механізми, описана структура системи керування.

Ключові слова: виконавчі механізми, алгоритмічне забезпечення, функціональна схема, система керування, операторська панель, SCADA-система, програмований логічний контролер, вентиляційно-опалювальний модуль.

ABSTRACT

Khytrenko Oleksii Oleksandrovych. SCADA-system for ensuring the storage of grain in silage. Master thesis. Sumy State University. Sumy, 2018.

The work contains 83 pages, 36 figures, 15 tables, 2 applications, design documentation containing 2 drawings. During the master's work 26 literary sources were used.

The functional automation scheme of system and the scheme of informational-material flows were developed. An algorithm for actuators` controlling was developed. Implementation of the SCADA-system was described. The parameters of the climate control regulator of the granary were explored. The sensors and actuators were selected, the structure of the control system was described.

Keywords: executive mechanisms, algorithmic support, functional scheme, control system, operator panel, SCADA-system, programmable logic controller, ventilating and heating module.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ 3

ВСТУП 4

РОЗДІЛ 1. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ЗБЕРІГАННЯ ЗЕРНА В СИЛОСІ 5

1.1. Технологічний процес зберігання зерна в силосі 5

1.2. Схема інформаційно-матеріальних потоків 15

РОЗДІЛ 2. ФУНКЦІОНАЛЬНІ ЗАДАЧІ КЕРУВАННЯ 18

2.1. Забезпечення матеріальних потоків 18

2.2. Контури керування 19

2.3. Таблиця вхідних/вихідних сигналів 24

2.4. Функціональна схема автоматизації 25

РОЗДІЛ 3. РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ 26

3.1. Вибір давачів 26

3.2. Вибір виконуючих механізмів 34

РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РЕГУЛЯТОРА КЛІМАТОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗЕРНОСХОВИЩА 43

РОЗДІЛ 5. РЕАЛІЗАЦІЯ SCADA-СИСТЕМИ 55

5.1. Вибір ПЛК та інтерфейсів 55

5.2. Програма керування процесом зберігання зерна 61

РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ 66

РОЗДІЛ 7. ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ 71

ВИСНОВКИ 73

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 74

ДОДАТОК А. АЛГОРИТМ КЕРУВАНЯ ВИКОНАВЧИМИ МЕХАНІЗМАМИ 76

ДОДАТОК Б. КОНСТРУКТОРСЬКА ДОКУМЕНТАЦІЯ 81

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АСУТП – автоматизована система управління технологічним процесом;

ДЗС – двигун змінного струму;

ДПШЗ – давач положення шиберної заслонки;

ДССК – давач сходу стрічки конвеєра;

ЕП – електропривод;

ІМ – інтерфейсний модуль;

СМ – сигнальний модуль;

КВПіА – контрольно-вимірювальні прилади і автоматика;

ЛМІ – людино-машинний інтерфейс;

ОК – об’єкт керування;

ПЛК – програмований логічний контролер;

РДР – ротаційний давач рівня;

ШЗ – шиберна заслонка;

ШІМ – широтно-імпульсна модуляція;

ВОМ – вентиляційно-опалювальний модуль.

ВСТУП

Збереження та раціональне використання всього вирощеного врожаю, отримання максимальної кількості виробів із сировини сьогодні є одним із найважливіших державних завдань.

Продукти харчування, що виробляються із зерна злакових рослин (печений хліб, крупа, макаронні та інші вироби з борошна), є складовою частиною їжі людини. Зерна і насіння злакових рослин безперечно мають вплив на життя кожної людини. Аналіз споживання продовольства у світі показує, що приблизно 55% білків, 70% вуглеводів і 15% жирів доводиться на частку зерна і насіння. Крім того, вони є важливим концентрованим кормовим засобом і, в певній мірі, технічною сировиною.

Зберігання, що є фінальною фазою виробництва зерна, - це наука, яка вивчає особливості зерна і зернових мас в цілому як об'єктів зберігання, а також вплив фізичних, хімічних і біологічних факторів на стан зерна. Зберігання зерна і зернових продуктів вимагає грандіозної матеріально-технічної бази і спеціалістів, які володіють достатніми знаннями та досвідом в цій області [1].

Автоматизація виробничих процесів - основний напрямок, по якому в даний час просувається виробництво в усьому світі. Все, що раніше виконувала сама людина, її функції, не тільки фізичні, але і інтелектуальні, поступово переходять до техніки, яка сама виконує технологічні цикли і здійснює контроль за ними.

Впровадження новітніх інформаційних технологій та останніх розробок в сфері промислової автоматизації підприємств зберігання і переробки зерна має значний вплив на підвищення ефективності керування, зростання конкурентоспроможності підприємств в цілому.

Зберігання і переробка зерна - це складний, багатоступінчастий, енергоємний процес, який вимагає використання досконалих, надійних систем автоматизації зберігання і переробки зерна для досягнення високої ефективності роботи даної галузі.

Дана робота присвячена створенню SCADA-системи керування технологічним процесом зберігання зерна в силосі. А саме підтриманню основних технологічних параметрів на необхідному для збереження якості зерна рівні при умові забезпечення енергоефективності. Також приділено необхідну увагу питанням охорони праці.

РОЗДІЛ 1
КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ЗБЕРІГАННЯ ЗЕРНА В СИЛОСІ

1.1 Технологічний процес зберігання зерна в силосі

Ефективне функціонування зерноскладів залежить від складних фізіологічних та біохімічних процесів, які відбуваються в зерні під час його зберігання, а також від чинників, що їх обумовлюють.

Враховуючи, що дозрівання зерна тривале у часі, в процесі зберігання в ньому відбувається явище післязбирального достигання. Воно протікає досить повільно і зазвичай супроводжуються посиленим диханням зерна і виділенням певної кількості вологи, яка повинна випаровуватися в навколишнє середовище. В іншому випадку зерно надмірно зволожується. Зберігання вологого зерна без належного провітрювання призводить до його швидкого псування [2].

Саме підвищені показники вологості є основною небезпекою для зерна, що зберігається, вони впливають на швидкість протікання фізіологічних процесів, які відбуваються у зерні під час його зберігання. Якщо зерно сухе, то і фізіологічні процеси відбуваються в ньому досить повільно та майже непомітно. У такому стані зерно перебуває в стані спокою. При різкому підвищенні вологості понад 14% в зерні починає посилюватися і поступово наростає процес дихання. Його можна порівняти з процесом горіння - зерно поглинає з навколишнього середовища кисень і виділяє вуглекислоту, вологу і теплову енергію. Якщо існує брак вільного кисню, то процес дихання відбувається за рахунок кисню, що створюється з вуглеводів зерна. При всьому цьому в зерні розпочинаються процеси, що максимально наближаються до спиртового бродіння. Як результат, погіршується якість зерна [3].

При різкому зниженні температурних показників всі життєдіяльні процеси в зерні уповільнюються, в протилежному випадку дихання зерна лише посилюється.

Підвищена вологість зерна і висока температура викликають теж розвиток та прискорення процесів розмноження різноманітних мікроорганізмів. Частіше за все у таких умовах розвиваються цвілеві грибків і бактерії, для яких подібні умови вважаються сприятливими. Вони досить швидко псують зерно [4].

При проектуванні зерноскладів і при розробці окремих їх деталей слід враховувати теж фізичні властивості зерна: його високі показники гігроскопічності, низьку

теплопровідність, слабку повітро- і газопроникність, сипкість, здатність самосортуватись при запуску в глибокі склади і самоущільнюватись під впливом своєї ж ваги.

Найбільш результативним заходом підготовки зерна до довготривалого зберігання є природний або штучний процес сушіння. Рекомендується проводити процедуру очищення зерна від органічних та неорганічних сторонніх включень (сміттєве насіння, бите зерно, пісок та інше).

Як видно з аналізу процесу зберігання зерна, цей процес нестаціонарний у часі. Він може залежати як від конструкції апарату для зберігання, так і від фізіологічного і біологічного стану сировини. Будь-якими процесами, що відбуваються в зерні, весь час необхідно керувати і контролювати їх. Через те, що всі параметри зерна змінні у часі, регулятори, що використовуються в системі керування повинні бути адаптивними. При цьому можуть бути використані наступні методи зберігання: аерація, вентилювання в декількох режимах, хімічне знезараження, а також консервування. Метод обирається відповідно стану і призначення зерна.

Аерація - пасивне або примусове (штучне) провітрювання силосу з зерном. Аерація необхідна для очищення повітря та оздоровлення зерна від продуктів розпаду і дихання зернової маси (діоксиду вуглецю, етилену, водяної пари). Спеціалісти не радять зберігати зерно насипом в наземних зерносховищах, які не оснащені активною вентиляцією. При аерації слід контролювати та керувати станом рівноважної вологості зерна. Особливо актуально це для периферійних шарів, де проникність повітря мінімальна [5].

Вентилювання - це процес продування повітря через зернову масу з метою охолодження або підсушування вологого зерна. Як наслідок, сировина насичується оксигеном. У режимі підсушування вентилювання проводиться у тому випадку, коли фактична вологість зерна досягає показників вище рівноважних. Вентилювання необхідне для покращення якості сировини та прискорення післязбирального дозрівання.

Ця методика обробки зерна дає можливість запобігти ймовірності самозігрівання зерна, охолоджувати його до показників, що забезпечують найтриваліший термін зберігання.

Вентиляція звичайним не підігрітим та не охолодженим повітрям дає можливість змінювати температурні показники зерна шляхом пропускання його через зернову масу. Більше того, цей процес дещо підсушує зерно. А інтенсивність підсушування залежить від потужності вентилятора.

У міру вентилювання зернового насипу проходить переміщення зони охолодження (навесні – теплої зони). Напрям руху даної зони залежить перш за все від режиму функціонування вентилятора. Якщо він направляє повітря в сховище, то зона охолодження

(нагрівання) рухається вгору. Якщо ж вентилятор висмоктує повітря зі сховища, то ця зона розпочинає рухатися згори до низу.

Вентиляція вважається більш ефективною, ніж перелопачування і пересипання зерна з одного бункера в інший. Окрім вищевказаного, вона не призводить до додаткового травмування сировини, внаслідок чого сповільнюється процес появи цвілі. При вентиляції головне правильно зафіксувати температурні показники і вологість повітря як зовні, так і всередині силосу. Відхилення від найкращих режимів вентиляції може привести до введення в зерно дуже вологого повітря [6].

Охолодження представляє собою прийом інтенсивного вентилювання, який збільшує стійкість і довговічність зерна. Воно також пригнічує будь яку життєдіяльність в сховищі, а також робить неможливим розмноження і розвиток зернових шкідників та навіть патогенних мікроорганізмів. Реалізується охолодження за допомогою використання устаткування для активного вентилювання в складах, повітряних силосних системам або шляхом пропуску сировини через охолоджувальні шахти сушарок. Найбільш ефективно охолоджувати зерно спеціальним підготованим охолодженим повітрям. Але в силу високої фінансової вартості даний спосіб рекомендується використовувати лише для цінних партій зерна продовольчого і насіннєвого призначення [7].

Для того, щоб мінімізувати втрати зерна під час довготривалого зберігання у сховищі, необхідно вміти правильно підбирати тип установки. Усі сховища для зберігання зерна умовно можна розділити на три типи: склад, бетонний силос і металевий силос. Кожен із них відрізняється функціональною спрямованістю і технологічністю.

Вимоги, яким повинні відповідати зерносховища

Необхідні якості зерно при тривалому зберіганні може зберегти лише в правильно влаштованих зерносховищах, вимоги до яких залежать від вищеописаних властивостей зерна.

Зерносховища будь-якого з існуючих типів зазвичай конструюють неопалювальними, без горищних перекриттів. У кожному зерносховищі мають бути ліквідовані будь-які причини, що можуть викликають хвороби зерна: вони мають бути сухими, чистими, добре вентилюватися, та захищеними від потрапляння гризунів, птахів, комах та інших шкідників зерна. Також слід звернути увагу на те, щоб силос був ретельно захищеним від проникнення в нього атмосферних опадів, поверхневих та ґрунтових вод [8].

Внутрішнє планування зерносховищ, будова, форма і величина ємностей для зберігання зернової сировини (засіків, бункерів, відсіків або силосів), їх розміщення в

сховищах повинні забезпечувати вільний вхід до зерна, що дозволить у будь-який момент спостерігати за його станом і можливістю внутрішньоскладської обробки зерна в момент зберігання. У зерноскладах мають бути можливі очищення, огляд і дезінфекція окремих частин конструкції, внутрішнього устаткування та механізму в цілому.

Технологічні процеси, пов'язані з використанням зерносховищ (завантаження, вивантаження, обробка, пересипання зерна та ін.) повинні бути повністю автоматизовані та механізовані із використанням як стаціонарних, так і пересувних агрегатів і з максимальним застосуванням принципу самопливу зерна.

Механічне обладнання зерноскладів

Для механізації завантаження, розвантаження, пересипання і підробітку зерна в зерноскладах використовуються наступні стаціонарні та пересувні агрегати:

- стрічкові норії (нерідко називають елеваторами або самотягами) для вертикального підйому сировини;
- стрічкові стаціонарні конвеєри для переміщення зерна в горизонтальному напрямку або під незначним кутом;
- пересувні конвеєри для вантажно-розвантажувальних процедур переважно при зберіганні зерна на підлозі;
- самоподавачі для завантаження конвеєрів при підлоговому завантаженні зерна;
- гвинтові конвеєри, або шнеки для переміщення зерна на недалекі відстані;
- самопливні зернопроводи для переміщення зерна зверху вниз під впливом сили тяжіння;
- зерноочисні механізми і сепаратори, необхідні для очищення зерна від сторонніх включень органічного і неорганічного типу.

Розглянемо детальніше кожен з типів зерносховищ:

1. Склад

Склади для зберігання зерна представляють собою одноповерхові приміщення з повністю горизонтальними або ж похилими підлогами. Стіни можуть бути виконані із цегли, каменю або ж залізобетону. Зерно в складах такого типу зберігається насипом на підлозі або ж в засіках. Різні методи зберігання зерна, розміри господарств і різновиди культур

визначили появу великої кількості видів та розмірів зерносховищ. Зернові склади бувають механізованими та немеханізованими.

Немеханізовані варіанти складів будують лише з горизонтальними підлогами. Переміщення і відпуск зерна в даних складах здійснюють із використанням пересувних і самохідних агрегатів.

Механізовані склади можуть бути побудовані як з горизонтальними, так і з похилими підлогами. Ці склади оснащують верхніми (завантажувальними) і нижніми (розвантажувальними) стаціонарними стрічковими транспортерами і норіями. Встановлюється устаткування зазвичай в торцях складів.

Зерно в таких складах зазвичай зберігають насипом. У спеціальній тарі, в якості якої зазвичай виступають мішки, зберігають тільки окремі партії зерна насіннєвого призначення, а також насіння з тендітною структурою оболонок.

Щоб раціональніше експлуатувати зерносклади і здешевити процедуру зберігання зерна, слід найбільш повно використовувати його об’єм, максимально збільшуючи висоту зернового насипу. Гранично допустима висота насипу в складах такого типу визначається не характеристиками складу, а станом зерна, його цільовим призначенням, технічним станом і видом складу. Крім того може бути врахований термін зберігання і пора року, коли зерно буде знаходитися у складі [9].

Продовольче і фуражне зерно, сухе чи середньої сухості, що пройшло стадію післязбирального дозрівання і все ретельно очищене від домішок, можна зберігати в підлогових зерносховищах шаром до 5 м, а в підлогових зерносховищах з похилими підлогами, обладнаних механізмами, що забезпечують механізовану завантаження, розвантаження та обробку зерна, - шаром до 10 м.

Сухе насіннєве зерно вологістю не вище 14% з метою збереження схожості насіння між собою та енергії їх проростання зберігають зазвичай розсипом на підлозі або в бункерах і засіках. Висота насипу може складати 2-3 метри, також зерно може зберігатися в тарі (мішках) штабелями. Висота має дорівнювати не більше 8 рядів, причому значно менша висота насипу чи штабеля при всіх інших рівних умовах можуть бути призначені для насіння олійних культур, а також для проса, рису, гороху і кукурудзи. Це пояснюється меншими показниками стійкості при зберіганні, аніж у пшениці чи у жита. Якщо зерносклад оснащений активною вентиляцією, висота насипу насіннєвого зерна може бути збільшена до 5 м.

Зерно, показник вологості якого складає понад 16-17%, та яке ще не пройшло післязбирального дозрівання і, отже, має знижену стійкість, в залежності від пори року і температури можна зберігати насипом незначної висоти, що не перевищує 1-1,5 м.

На показники висоти насипу може впливати також передбачуваний строк зберігання зерна. Якщо зерно закладають для нетривалого зберігання, то висоту насипу можна дещо збільшити. При тривалому ж зберіганні слід застосовувати значно нижчу висоту насипу. Висоту насипу зерна можна варіювати теж в залежності від пори року. Її можна збільшувати на холодний період та знижувати з настанням перших високих температурних показників.

Елеватор - це найбільш досконалий тип механізованого сховища. Він призначається перш за все для зберігання сухого товарного зерна зі встановленою вологістю не вище 14-15%. Зерно в елеваторах зберігають в силосах, які розташовані поблизу один від одного. Всі трудоємні процеси в елеваторах - прийом зерна, його зважування, завантаження та вивантаження, внутрішнє пересування, очищення від домішок, сортування і т.д.- повністю механізовані й автоматизовані в елеваторах.

Елеватор означає власне підйомник, так як основним механізмом в такого типу зерносховищах є елеватор-підйомник. Саме тому ця назва розповсюдилася і на всю споруду. Крім норій, застосовуваних для вертикального підйому зерна, елеватори оснащені конвеєрами і шнеками, що необхідні для горизонтального переміщення зерна, трубами для переміщення зерна самопливом зверху вниз і зерноочисними машинами і агрегатами [10].

Головні будівлі та споруди елеватора

Сучасний елеватор складається із комплексу споруд, зв'язаних спільними виробничими процесами. Головними з них є приймання, зважування, зберігання, відпуск зерна. Серед спеціальних функцій виділяють очищення, сушіння та сортування зерна.

Будинки й споруди елеватора за функціональними властивостями можна умовно розділити на: виробничі, необхідні для приймання, зберігання, підробітки та відпуску зерна та іншої зернової продукції; допоміжні та обслуговуючі процес виробництва; невиробничі.

До головних виробничих будівель та споруд елеваторів можна віднести: робочу будівлю; силосні корпуси з конвеєрними галереями; споруди призначені для розвантаження зерна з залізничного, автомобільного і водного видів транспорту і навантаження сировини на ці ж види транспорту; устаткування для сушіння зерна; агрегати для зберігання і навантаження відходів зернового виробництва на автомобільний та залізничний транспорт.

У робочій споруді елеватора зазвичай розміщують машини і механізми, необхідні для підйому зерна (норії), зважування, очищення, а також прилади для переміщення і розподілу зерна. Робочу будівлю вважають основною в системі елеватора, навколо якого згруповуються і з яким пов'язують всі інші його виробничі споруди.

Силосний корпус - це власне зерносховище, що може складатися з різної кількості силосів.

До складу елеватора можуть входити й інші допоміжні виробничі будівлі та споруди, такі, як спеціальні будівлі та споруди для якісного очищення і сортування зерна, камера для швидкого збору пилу, цех для відходів, склади для підлогового зберігання зерна і т.д.

До допоміжних обслуговуючих виробництво будівель і споруд елеватора слід віднести: силову станції, склади для зберігання палива, ремонтні майстерні, пожежне депо, лабораторія і т. д. В якості невиробничих будівель і споруд виступають - їдальня, побутові пристрої, адміністративний корпус та ін..

Комплекс будівель і споруд елеватора може бути різним і залежить від типу елеватора, виконуваних функцій і обсягу робіт [8].

2. Бетонний силос (рис. 1.1)

Рисунок 1.1 – Бетонний силос для зберігання зерна

Будь-який силосний корпус може бути розділений по висоті на три частини, які значно відрізняються одна від одної:

- Нижня – підсилосний сектор або підвал, в якому встановлюються нижні конвеєри;
- Середня - власне силоси, де і відбувається довготривалий процес зберігання зерна;
- Верхня - надсилосне приміщення, або галерея, де розміщені верхні конвеєри.

Силоси завантажують використовуючи верхні транспортери, а вивантажують, випускаючи зерно на нижні транспортери.

Силосні корпуси залізобетонних елеваторів зазвичай мають силоси круглого або квадратного перетину. Круглий перетин під впливом розпору, створюваного зерном, працює тільки на розтягання, і це призводить до мінімальної витрати бетону і сталі в порівнянні з іншою формою силосу [11].

Діаметри круглих силосів, зблокованих в силосні корпуси, при проектуванні елеваторів приймають 3, 6, 9 і 12 метрів, а окремо ж стоять 12, 18 і 24 м.

Величини залізобетонних силосних корпусів в плані повністю залежать від заданої місткості. Для того щоб не з’явилися тріщини від різких температурних перепадів, довжина силосного корпусу не має перевищувати 48 м. При нескельних ґрунтах відношення довжини силосного корпусу до його ширини і висоти, приймають не більше двох. Можливе збільшення довжини корпусу і вищевказаного відношення при відповідному обґрунтуванні.

3. Металевий силос (рис. 1.2)

Рисунок 1.2 – Металевий силос для зберігання зерна

Для зберігання значних однорідних партій зерна в останні часи почали використовувати окремі сталеві силоси великого об’єму, з'єднані між собою і з робочими будівлями, транспортерними галереями і тунелями.

Практичний досвід зарубіжних колег продемонстрував, що сталеві силоси, в порівнянні зі збірними залізобетонними, є більш зручними, економічними, та вимагають для

зведення набагато менших трудових витрат. Для виробництва найкращих зразків сталевих силосів витрачається практично така ж кількість сталі, як і для залізобетонних, а витрата бетону та залізобетону, в свою чергу, зменшується більше ніж в 5 разів.

Незначна маса конструкцій сталевих силосів дає можливість різко зменшити транспортні витрати, скоротити витрати на будівельні машини, особливо при будівництві в глибинних районах. Також така характеристика дає можливість зводити елеватори на будівельних ділянках з незначною несучою здатністю ґрунтів.

Конструкції сталевих силосів реально виготовити повністю в умовах заводу, доставляти на будівельний майданчик укрупненими елементами, що дозволить вести швидкий монтаж їх і скоротити строк зведення [10].

Величини сталевих силосів можуть бути найрізноманітнішими. Є безліч різних прийомів виготовлення і монтажу сталевих стінок силосів.

Головні переваги металевих силосів:

- Швидкий процес монтажу;
- Значно менший фундамент;
- Стандартне виконання;
- Можливість переміщення в інше місце;
- Гнучкість в плані адаптації та різних модифікацій;
- Конструкція дна має конічну або плоску форму;
- Можливість застосування зачисних шнеків.

Зберігання зерна в металевих силосах елеваторів прийнято вважати самим модернізованим та індустріальним.

Обираючи зерносховище в якості об’єкта автоматизації для подальшої модернізації необхідно порівняти всі недоліки і переваги як бетонних, так і металевих силосів за певними критеріями:

Будівництво

- Недоліком бетонного силосу є те, що процес його будівництва ускладнюється тим, що він динамічний і неперервний. Тут задіяна більша кількість людей, більш довгі терміни до моменту введення в експлуатацію, відповідно, і більші затрати.
- Бетонний силос може бути вище металевого, що зумовлює більш адекватне використання в умовах обмеженого простору. Проте металевий силос може мати набагато більший діаметр, що впливає на місткість.

- Для інсталяції металевого силоса не вимагається тверда поверхня для підтримання ваги структури. Часто металеві силоси можна встановлювати на ділянці землі, яка не має вантажопідйомності, необхідної для бетонної споруди.
- Говорячи про водонепроникність, обидві конструкції являються герметичними.

Ціна

- Перевагою металевих силосів є більш низькі затрати на монтаж, так як вони збираються з уже готових елементів, які розроблені спеціально для цієї цілі і важать менше ніж матеріали для бетонного силоса.
- Металевий силос надає більше простору для зберігання за ту ж саму ціну. Зазвичай вони більш ефективні через більший об'єм, а також скорочують собівартість одиниці продукту.

Кліматозабезпечення

- Завдяки фізичним властивостям матеріалу температура повітря всередині бетонного силоса не піддається такому швидкому росту в теплий період року, як в металевому аналогу. Проте у разі появи надмірної вологи зерна, вивести її з бетонного зерносховища буде важче.
- Більш ефективно і набагато простіше організувати вентиляцію зерна в металевому силосі. Потужність вентиляції – це нелінійний процес відносно глибини зберігання зерна. Практично неможливо забезпечити однаковий потік повітря в високому бетонному силосі, чого не скажеш про більш низький і широкий металевий силос. Глибина зберігання зерна в бетонному сховищі являється також причиною нагрівання через пресування [9].

Виходячи з вищеописаних переваг металевих силосів, саме їх можна вважати найперспективнішими в плані автоматизації. Це і зумовило вибір металевого силоса в якості об'єкта автоматизації.

1.2 Схема інформаційно-матеріальних потоків

На основі аналізу технологічного процесу зберігання зерна в силосі розробимо схему інформаційно-матеріальних потоків (рис. 1.3) - спосіб наочного уявлення маршрутів, потоків управлінської інформації між складовими системи керування.

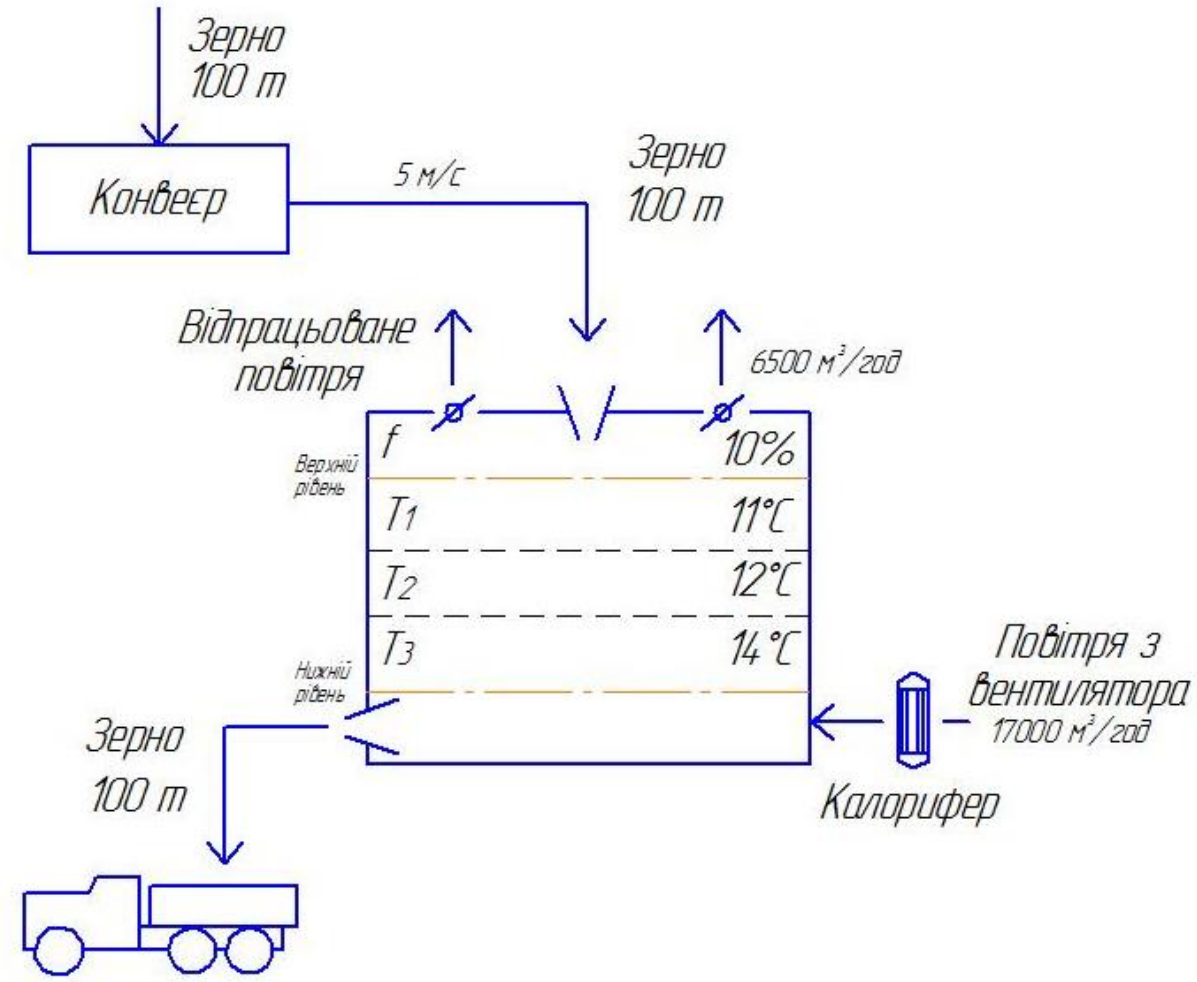

Рисунок 1.3 − Схема інформаційно-матеріальних потоків

Для реалізації завантаження та зерна в системі передбачений конвеєр. Зерно через засувку потрапляє на конвеєр та далі в силос через завантажувальний отвір в даху. Необхідно і достатньо мати уявлення про нижній і про верхній рівні зерна, для того щоб точно знати коли завершувати завантаження або вивантаження зерна. Загрузка зерна припиняється після спрацювання давачів верхнього рівня. Вивантаження зерна відбувається з вивантажувального отвору та триває до спрацювання нижніх давачів рівня. До засобів контролю роботи конвеєра входять давачі швидкості та сходу стрічки, а також пристрій плавного пуску та зупинки двигуна. Важливою задачею є також контроль потоку матеріалу, а саме своєчасне реагування у випадках коли відсутній потік через заштибовку, підпір, забивання або просту відсутність зерна, що подається.

Одне з найважливіших завдань при зберіганні зерна є підтримання температури зерна та вологості повітря в заданому діапазоні. Перш за все це означає безперервний контроль за процесом самозігрівання зерна і зміною температури зернової маси в силосах і ємностях для зберігання. Сертифіковані системи контролю температури зерна в силосах на базі термопідвісок з цифровими давачами температури забезпечують точний і безперервний контроль за станом зерна. Не менш важливим є завдання контролю вологості всередині зерносховища [12].

Своєчасне регулювання температури зерна досягається застосуванням активного вентилювання. Активне вентилювання заключається в примусовому продуванні атмосферного повітря через нерухомий насип зерна. Цей технологічний прийом заснований на використанні сквапності зернової маси: багаточисленні між зернові простори утворюють повітропровідну систему, роблячи її проникною для повітря, яке має змогу вільно переміщуватись. Потік повітря здійснює вплив на температуру і вологість зерна, змінює газовий склад повітря міжзернових просторів, тобто впливає на ті фактори, які в першу чергу відповідають за рівень життєдіяльності всіх живих компонентів зернової маси, а отже і її збереження. Зниження інтенсивності біологічних процесів псування зерна, тобто консервація – головний технологічний ефект активного вентилювання [13].

При активному вентилюванні тільки певна кількість повітря забезпечує достатньо швидке охолодження. Якщо повітря недостатньо, зерно охолоджується повільно, а найвіддаленіші від місця надходження повітря ділянки зернового насипу часто зволожуються. В цих зонах через довготривале знаходження зерна при підвищеній температурі і вологості активно розвиваються мікроорганізми, і можливе виникнення процесу самозігрівання. Отже, вентилювання необхідно проводити з такою інтенсивністю, щоб виключити розвиток небажаних процесів та охолодити зерно набагато раніше, ніж воно може почати псуватись.

Активне вентилювання необхідно проводити в строгій відповідності до установлених для кожної культури режимів обробки. Під режимом активного вентилювання розуміють оптимальне поєднання основних параметрів обробки зерна повітряним потоком. До таких параметрів можна віднести: питому подачу повітря, тривалість та періодичність вентилювання, висоту зернового насипу [14].

Активне вентилювання зерна можна проводити не завжди. При вологості зерна нижче 20% в процесі вентилювання в окремих випадках можливе його незначне зволоження. Щоб цього не допустити, необхідно регулярно контролювати рівень відносної вологи повітря і за цим показником визначати величину рівноважної вологості зерна, до якої воно буде

прямувати при вентилюванні. Таким чином, для визначення можливості вентилювання необхідно регулярно визначати відносну вологість повітря.

Процес сушіння зерна в нерухомому насипу активним вентилюванням представляє собою найпростіший спосіб конвективного сушіння, який широко використовується в сільському господарстві. Проте при сущці зерна підігрітим повітрям проявляється вагомий негативний фактор, пов'язаний з різким пересушуванням зерна в нижній і середній частинах насипу. Важливим технологічним завданням підвищення ефективності сушіння зерна в нерухомому насипі при використанні повітря з високою температурою заклечається в тому, щоб не допустити різкого пересушування зерна. Іншим негативним фактором є те, що при вентилюванні зерна підігрітим повітрям утворюється небажана волога в повітрі. В цьому і полягає основна проблема кліматозабезпечення – одночасне підтримання всіх важливих параметрів зерна на необхідному рівні. Для досягнення результату необхідно реалізувати взаємопов’язане регулювання параметрів [15].

Для отримання рівномірного по вологості зерна першу половину часу сушіння проводять гарячим повітрям, а далі проводять обробку лише холодним повітрям. На другому етапі обробки холодне повітря починає зволожувати до оптимального рівня вологості раніше пересушену нижню частину насипу зерна, при цьому агент сушіння стає більш сухим, що забезпечує досушування верхньої частини насипу [16].

Витяжні вентилятори, розміщені в даху силоса забезпечують відведення відпрацьованого повітря назовні. Найкращий варіант вентилювання зерна при працюючих одночасно основному та дахових вентиляторах. Завдяки цьому вологе повітря буде легко видалятись поки зерно вентилюється. Для найкращого режиму роботи, витяжні вентилятори повинні працювати одночасно з основним та після його відключення залишатись працюючими певний час для того, щоб бути впевненим, що все вологе повітря видалено.

РОЗДІЛ 2
ФУНКЦІОНАЛЬНІ ЗАДАЧІ КЕРУВАННЯ

2.1 Забезпечення матеріальних потоків

Сучасний елеваторний комплекс або зерносховище має в своєму складі велику кількість обладнання і вимагає простого централізованого керування технологічними процесами. Це забезпечується застосуванням сучасних систем автоматизованого керування [13].

Проаналізувавши схему інформаційно-матеріальних потоків виділимо основні функціональні задачі керування, необхідні для забезпечення матеріальних потоків:

1. Завантаження та вивантаження зерна;
2. Підтримання відповідного рівня температури зерна;
3. Забезпечення прийнятного значення вологості повітря.

Із основних функціональних завдань можна виділити значну кількість підзадач:

1. Визначення нижнього і верхнього рівня зерна в силосі;
2. Керування роботою двигуна конвеєра;
3. Контроль положення стрічки конвеєра;
4. Контроль швидкості конвеєра;
5. Контроль потоку матеріалу, що надходить на конвеєр;
6. Керування засувом подачі зерна;
7. Контроль обертів двигуна основного вентилятора системи вентилювання;
8. Регулювання витрати повітря основного вентилятора в залежності від заданих параметрів;
9. Керування роботою калорифера;
10. Контроль положення шиберних засувок витяжних вентиляторів;
11. Керування витяжними вентиляторами.

2.2 Контури керування

На основі виділених функціональних задач розробляємо контури керування системи автоматизації зберігання зерна в силосі.

До задач контуру керування температури зерна входить отримання миттєвих значень температури в різних точках силоса за допомогою термопідвісок, що включають в себе давачі температури. Іншою задачею є подача повітря під певним тиском, яка відбувається за заданим законом та відповідно до показань давачів. Схему контуру керування температури наведено на рис. 2.1.

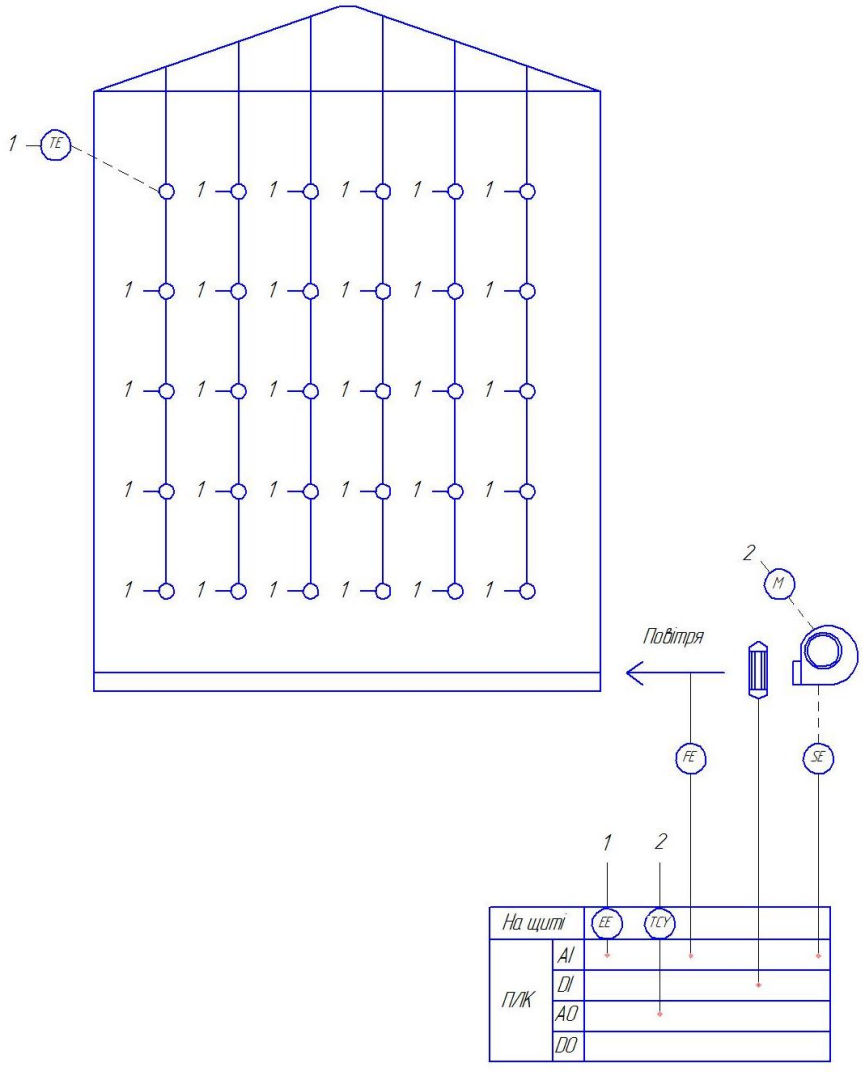

Рисунок 2.1 − Контур регулювання температури зерна

Контур регулювання рівня зерна (рис. 2.2) забезпечує кінець загрузки силоса при спрацюванні верхніх давачів рівня. Також до задач контура можна віднести відкривання та закривання заслонок подачі та загрузки зерна в конкретний момент часу. Іншим завданням контуру є контроль роботи конвеєра подачі зерна.

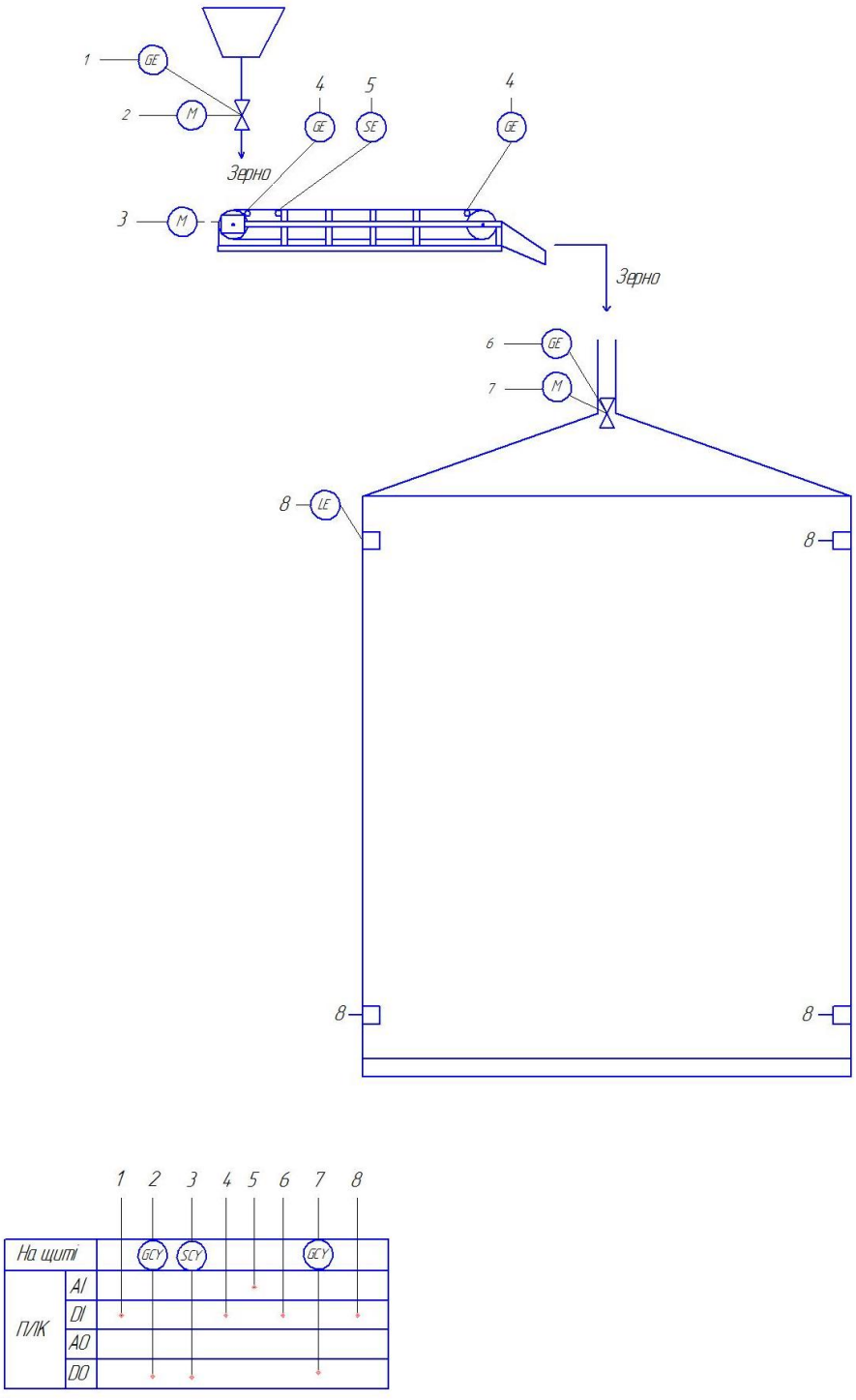

Рисунок 2.2 − Контур регулювання рівня зерна

Основною задачею контура регулювання вологості повітря (рис. 2.3) є отримання миттєвих значень вологості за допомогою давачів вологості в верхній частині зерносховища та керування системою активної вентиляції для забезпечення відповідності фактичних параметрів вологості допустимим. До складу системи активної вентиляції відносяться основний вентилятор, витяжні вентилятори на даху, шиберні заслонки витяжних вентиляторів та давачі положення заслонок.

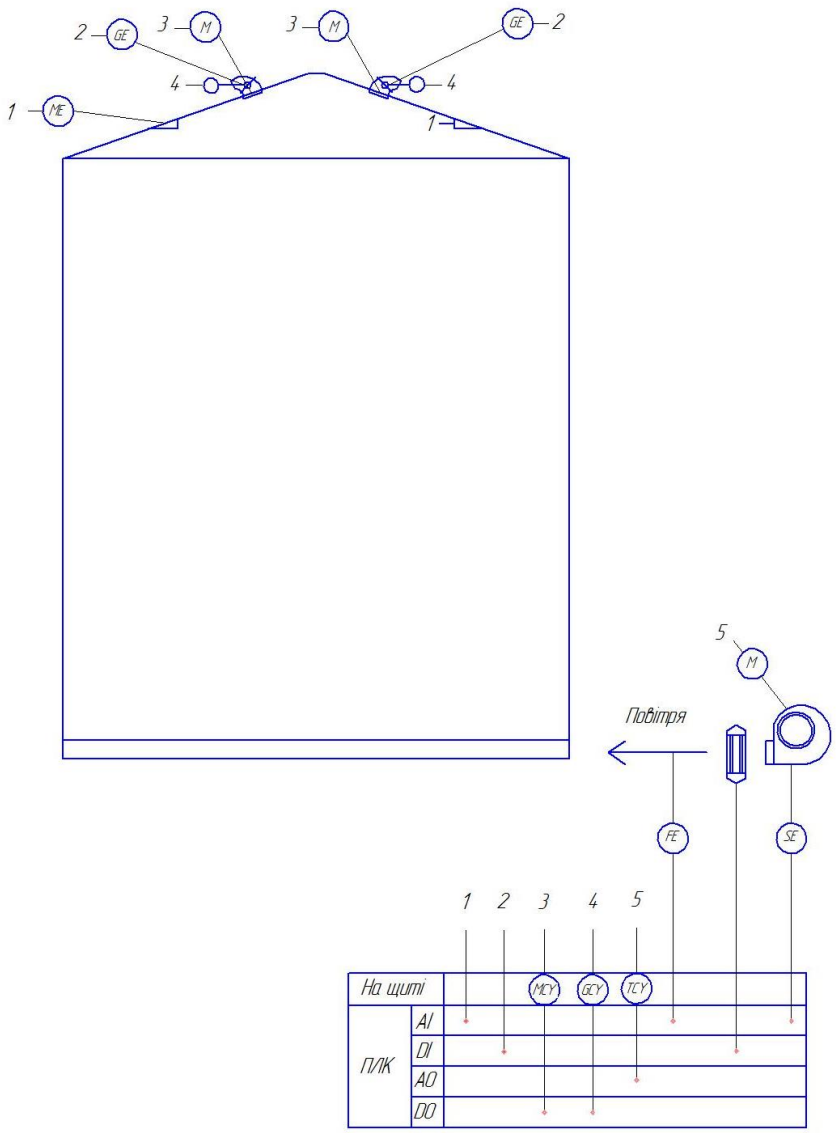

Рисунок 2.3 − Контур регулювання вологості повітря всередині силосу

Для більшої деталізації системи та кращого розуміння протікаючих в ній процесів із основних контурів керування можна виділити декілька простіших, але не менш важливих контурів.

Задачею контура керування загрузкою силоса (рис. 2.4) є контроль параметрів роботи конвеєра та своєчасне відкриття чи закриття заслонок подачі та загрузки зерна про положення яких стає відомо завдяки давачам положення. До засобів контролю роботи конвеєра входять давачі швидкості та сходу стрічки, а також пристрій плавного пуску та зупинки, який дає можливість плавного пуску та зупинки двигуна конвеєра.

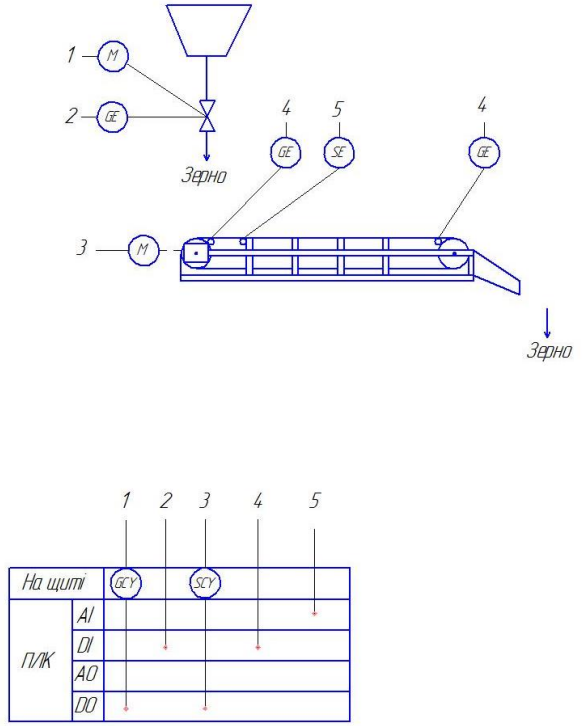

Рисунок 2.4 − Контур керування загрузкою силоса

До завдань контуру регулювання роботи вентилятора можна віднести зміну частоти обертання, яка впливає на витрату повітря, яке потрапляє всередину зерносховища та контроль основних показників роботи вентилятора, якими є витрата повітря на виході та частота обертання двигуна. Схема контура регулювання роботи вентилятора представлена на рис. 2.5.

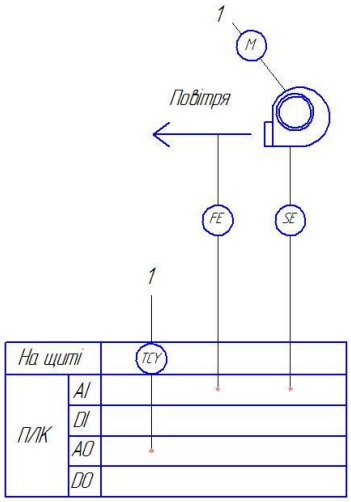

Рисунок 2.5 − Контур регулювання роботи вентилятора

Завданням контура регулювання роботи витяжних вентиляторів (рис. 2.6) є ввімкнення чи вимнення вентиляторів в залежності від показань давачів вологості, а також відкриття шиберної заслонки під час роботи, або ж її закриття при неактивних вентиляторах для уникнення виходу повітря, коли це не потрібно або для захисту від небажаного потрапляння повітря в середину зерносховища.

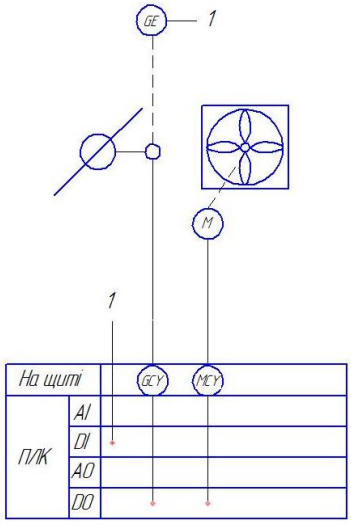

Рисунок 2.6 − Контур регулювання роботи витяжних вентиляторів

2.3 Таблиця вхідних/вихідних сигналів

Проаналізувавши розроблені контури керування системи автоматизації зберігання зерна в силосі, а також дослідивши відповідні галузеві та державні стандарти для визначення норм контрольованих параметрів в системі, складаємо таблицю вхідних-вихідних сигналів (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 − Таблиця вхідних/вихідних сигналів

№	Опис	Діапазон	
1	Рівень зерна в силосі	0…1	Дискретний вхід
2	Температура зерна	-55…+125 °С	Аналоговий вхід
3	Вологість повітря в силосі	5…95%	Аналоговий вхід
4	Положення шиберного засува витяжних вентиляторів	0…1	Дискретний вхід
5	Витрата повітря на виході вентилятора	0…17000м^3/год	Аналоговий вхід
6	Частота обертів двигуна вентилятора	0…1450об/хв	Аналоговий вхід
7	Зміна положення шиберного засува	0…1	Дискретний вихід
8	Ввімкнення/вимкнення витяжних вентиляторів	0…1	Дискретний вихід
9	Ввімкнення/вимкнення основного вентилятора	0…1	Дискретний вихід
10	Завдання частоти обертів двигуна основного вентилятора	0…1450об/хв	Аналоговий вихід
11	Положення засуву подачі зерна	0…1	Дискретний вхід
12	Відкриття/закриття засуву подачі зерна	0…1	Дискретний вихід
13	Ввімкнення/вимкнення двигуна конвеєра	0…1	Дискретний вихід
14	Сход стрічки конвеєра	0…1	Дискретний вхід
15	Швидкість руху стрічки	0…5 м/с	Аналоговий вхід

2.4 Функціональна схема автоматизації

Функціональна схема автоматизації є основним проектним документом, що визначає структуру і рівень автоматизації технологічного процесу проектованого об'єкта і оснащення його приладами та засобами автоматизації (в тому числі засобами обчислювальної техніки).

Функціональні схеми являють собою креслення, на яких за допомогою умовних зображень показують технологічне обладнання, комунікації, органи керування, прилади та засоби автоматизації, засоби обчислювальної техніки та інші агрегатні комплекси із зазначенням зв'язків між приладами і засобами автоматизації, таблиці умовних позначень і пояснення до схеми.

На основі розроблених контурів регулювання складаємо функціональну схему автоматизації обраного об’єкта.

Пропонується схема автоматизації на кресленні СУ.м-71.151.14.А2.

РОЗДІЛ 3
РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ

3.2 Вибір давачів

Вибір давачів рівня

За принципом проведення вимірювань давачі рівня ділять на кілька типів: поплавкові (гнучкі, багаторівневі, однорівневі, міні-давачі), лопатеві, ємнісні, вібраційні, давачі тиску, наскрізні, ультразвукові, давачі швидкості обертання і ін.

Забезпечуючи потрібні результати вимірювань, кожен з типів давачів демонструє свої переваги і недоліки. Найпопулярнішими типами давачів для визначення рівня сипучих матеріалів є мембранні, ультразвукові та ротаційні давачі.

Виберемо давач з пристроїв різного типу(табл. 3.1):

Таблиця 3.1 − Давачі рівня

Модель	Тип	Діапазон температур, °С	Діапазон виміру, м
MFA	Мембранний	-30…+200	-
FineTek SE-111	Ротаційний	-20…+70	-
Vegason 61	Ультразвуковий	-40…+80	2

Так як давачі рівня в нашій системі керування використовуються для визначення мінімального і максимального рівня зерна в силосі з метою позначення моменту зупинки завантаження або вивантаження зерна, немає необхідності в точному визначенні висоти насипу зерна, також температури навколишнього середовища чи матеріалу точно будуть знаходитись в діапазоні -20…+70°С. Отже, можна зробити висновок, що давач рівня ротаційний SE-111 краще за інших задовольняє представлені вимоги для використання з метою вимірювання рівня сипучих матеріалів. Характеристики давача наведені в табл. 3.2.

Принцип роботи ротаційних лопатевих давачів рівня SE-111 дуже простий – зазвичай давач встановлюють в стінці бункера для контролю верхнього, середнього або нижнього рівнів. У вільному режимі (при відсутності контрольованого матеріалу) синхронний двигун обертає лопать давача зі швидкістю приблизно 1 оберт в хвилину. Коли навколо лопаті з’являється матеріал, що перешкоджає обертанню, двигун зупиняється, викликаючи зміну стану мікроперемикача (формує сигнал індикації або керування). Застосовуються для вимірювання рівня практично будь-яких сипучих матеріалів: зерно, комбікорм (в тому числі гранульований), борошно, добрива, фураж, цемент, пластик і т.д.

Принцип роботи контрольного вимикача давача (рис. 3.1):

1. Синхронний двигун обертається. Це означає, що матеріал не торкається лопатей і контакти (C,L) замкнуті.

2. Коли матеріал торкається лопатей, контакти (C,L) встановлюються в положення - розімкнуті, а контакти (C,H) в положення - замкнуті, струм через обмотки синхронного двигуна не протікає.
3. Коли матеріал перестає контактувати з лопатями (матеріал відсутній), синхронний двигун запускається знову, контакти (C,L) встановлюються в положення - замкнуті, це говорить про те, що цикл почався знову.

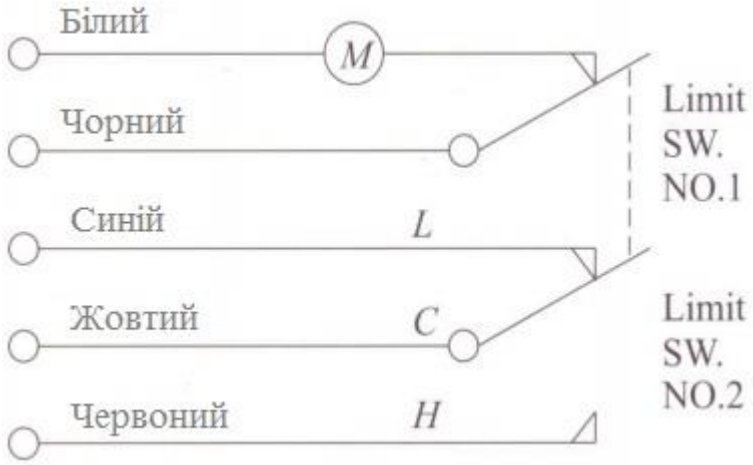

Рисунок 3.1 – Принцип роботи контрольного вимикача давача рівня SE-111

Таблиця 3.2 − Технічні характеристики ротаційного давача рівня SE-111

Назва	Давач рівня ротаційний SE-111
Бренд	FineTek
Країна виробництва	Тайвань
Тип приладу	Лопатевий
Кількість рівнів	1
Контрольоване середовище	Сипучі матеріали
Номінальний струм	5 А
Матеріал корпусу	Алюміній
Ступінь захисту	IP65
Температура навколишнього середовища	Т -20 … + 70°С
Вага	1,7 кг
Напруга живлення	110-120 В або 220-240 АС 50-60 Гц, 24В, 48В АС 50-60Гц, 24В DC, універсальне живлення

На рис. 3.2 зображено схему підключення ротаційного давача рівня SE-111

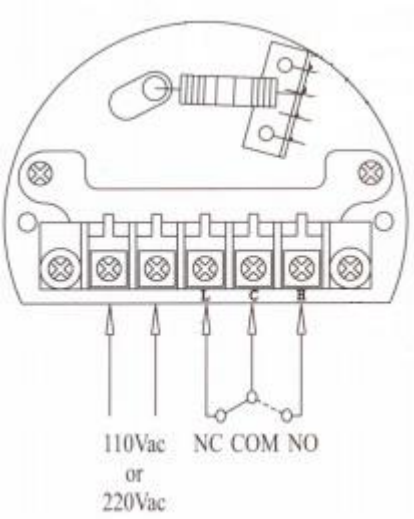

Рисунок 3.2 − Схема підключення ротаційного давача рівня SE-111

Вибір давачів вологості повітря

Вибираємо давач вологості HS-1.

Давачі вологості серії HS призначені для вимірювання вологості в промислових і технологічних приміщеннях та установках.

Характеристики давача вологості HS-1:

- Назва: давач вологості HS-1;
- Бренд: Fotek;
- Країна виробництва: Тайвань;
- Напруга живлення: 4,0 … 5,5 В;
- Габаритний розмір: M12;
- Струм: 200 мкА;
- Діапазон вимірювання вологості: 0-100% RH, без конденсату;
- Робоча температура: -40 … + 85 ° C;
- Коментар: чутливий до світла, захистити від попадання прямих променів.

Особливості:

- лінійна залежність вихідної напруги від вологості;
- висока точність: + 2,0% RH;
- малий час відгуку: 15 сек;
- стабільна робоча характеристика з незначним дрейфом.

Схема підключення давача вологості HS-1 представлена на рис. 3.3.

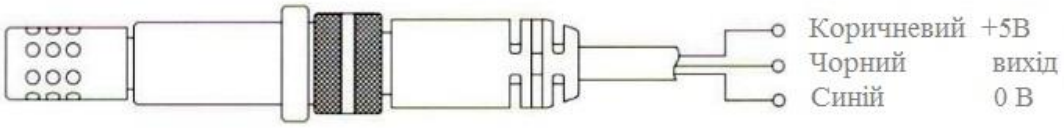

Рисунок 3.3 – Схема підключення давача вологості HS-1

Вибір системи контролю температури

В якості системи термометрії зерна виберемо термопідвіски ТП-1М.

Система контролю температури в зернових силосах типу ТП моделі 1М призначена для безперервного дистанційного вимірювання температури в зернових силосах, подання інформації про виміряні температури в аналоговому вигляді на вхід ПЛК і аварійно-попереджувальної сигналізації про перевищення температури в зерні заданих установок температури і швидкості наростання температури.

Технічні дані:

- Діапазон вимірювання температури – -30 … 60°С;
- Максимальна похибка вимірювання в діапазоні -20 … 45 ° С – ± 0,5;
- Довжина, м – 8;
- Кількість давачів – 15;
- Розривне зусилля грузонесучого троса, т – 2,0;
- Напруга живлення, В – 5,0;
- Максимальний споживаний струм, мА – 60;
- Робочий діапазон температур навколишнього повітря, °С – -30…60;
- Максимальна вологість навколишнього середовища,% – 80;
- Максимальна допустима вібрація –
  - частота, Гц ≤25;
  - амплітуда, мм ≤0,1;
- Ступінь захисту оболонки – IP54;

Термопідвіски зі ступенем захисту оболонки IP54 мають декілька давачів температури, встановлених через однакову відстань.

Давачі температури використовуються всюди, де робочі параметри системи так чи інакше залежать від температурних факторів. Сьогодні випускаються різні види давачів температури: термопари, термістори, терморезистивні давачі з лінійною залежністю вихідного сигналу, а також напівпровідникові давачі з цифровим виходом.

Основні критерії при виборі типу давачів:

- Температурний діапазон;
- Можливість занурення давача в вимірювану середу або об'єкт. Якщо розташування всередині середовища неприпустимо, то варто вибирати акустичні термометри і пірометри.
- Умови вимірювань. Якщо використовується агресивне середовище, то необхідно використовувати або давачі в корозійно-захищених корпусах, або використовувати безконтактні давачі. Крім того, необхідно передбачити інші умови: вологість, тиск і тд.
- Час роботи давачів без заміни та калібрування. Деякі типи давачів мають відносно низьку довгострокову стабільність, наприклад термістори.
- Тип вихідного сигналу. Деякі давачі видають вихідний сигнал у величині струму, а деякі автоматично перераховують його в градуси.
- Інші технічні параметри, такі як: час спрацьовування, напруга живлення, дозвіл давачів і похибка. Для напівпровідникових давачів, важливим також являє тип корпусу [17].

При задачах вимірювання температури зерна для встановлення в термопідвіски за всіма критеріями нам підійдуть терморезистивні давачі температури QUNDA TCM, які мають характеристики, наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 − Основні характеристики давачів температури QUNDA TCM

Діапазон вимірюваних температур, °С	Тип терморезистора	Час перетворення, с	Напруга живлення, В	Вхідна сила струму, мА	Опір, Ом
-30…+60	TCM	5	5…27	0…12	50/53

Вибір давача наближення

Виберемо індуктивний безконтактний давач наближення SICK IME-12 08NPSCZ0S для визначення положення засувок подачі та загрузки зерна.

Індуктивний давач (безконтактний індуктивний вимикач) – це пристрій, що реагує тільки на метал. Принцип дії таких пристроїв заснований на зміні амплітуди коливань генератора при внесенні в чутливу зону вимикача металевого, магнітного, феромагнітного або аморфного матеріалу певних розмірів. При подачі живлення на кінцевий вимикач в області його чутливої поверхні утворюється змінне магнітне поле, що наводить у внесеному в зону матеріалі вихрові струми, які призводять до зміни амплітуди коливань генератора. В

результаті виробляється аналоговий вихідний сигнал, величина якого змінюється від відстані між пристроєм і контрольованим предметом. Тригер перетворює аналоговий сигнал в логічний, встановлюючи рівень перемикання і величину гістерезису.

Основні характеристики індуктивного безконтактного давача SICK IME-12 08NPSCZ0S:

- Діаметр, мм: 12;
- Вид підключення: роз'єм M12, 4-конт.;
- Відстань спрацьовування, мм: 8;
- Функція виходу: нормально відкритий;
- Напруга живлення, V: DC 10 … 30;
- Споживання струму, мА: ≤10;
- Діапазон робочих температур, ° С: -25 … + 75.

На рис. 3.4 зображена схема підключення індуктивного безконтактного давача наближення SICK IME-12 08NPSCZ0S.

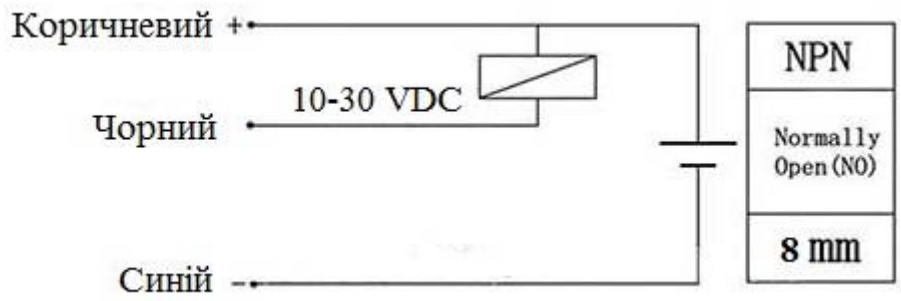

Рисунок 3.4 – Схема підключення індуктивного безконтактного давача наближення SICK IME-12 08NPSCZ0S

Вибір давачів контролю сходу стрічки

Виберемо давач сходу конвеєрної стрічки серії ДКСЛ-Н-03

Давачі контролю сходу стрічки серії ДКСЛ-Н-03 – призначені для контролю аварійного сходу конвеєрної стрічки в бік і видачі сигналу (шляхом замикання або розмикання електричного кола) в систему дистанційного або автоматичного керування, на всіх типах стрічкових конвеєрів.

Технічні характеристики давачів:

• Кут спрацьовування: 20 град.;

• Комутована напруга: 0,05-200DC / 0,05-250AC;

• Комутована потужність: 30Вт;

• Опір: не більше 0,15 Ом;

• Діапазон робочих температур: -25 … + 75 ° С;

• Ступінь захисту: IP67;

• Маса: 1,2 кг.

Схема підключення давача сходу конвеєрної стрічки серії ДКСЛ-Н-03 представлена на рис. 3.5.

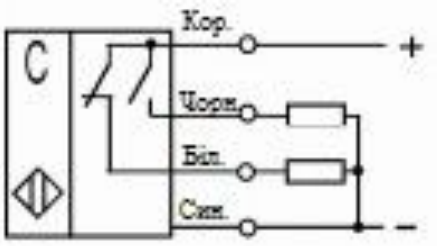

Рисунок 3.5 – Схема підключення давача сходу конвеєрної стрічки серії ДКСЛ-Н-03

Вибір давача швидкості транспортерної стрічки

Обираємо давач ДСТЛ-002.

Давач швидкості транспортної стрічки використовується для вимірювання швидкості руху конвеєрів.

Принципом роботи є вимірювання частоти обертання колеса, притиснутого до стрічки. Обертання колеса викликає генерацію імпульсу індуктивного давача за рахунок руху елементів з феромагнітного матеріалу.

Основні характеристики давача швидкості стрічки ДСТЛ-002:

- Вид напруги: постійна;
- Температура навколишнього середовища, ° С: -25 … + 70;
- Напруга номінальна, В: 24;
- Imax, мА: 200;
- Межа швидкості, м / с: 7.

Вибір давача швидкості обертання

Зупинимо вибір на давачі швидкості обертання GEL 2472 від Lenord + Bauer.

Характеристики давача швидкості обертання:

- Діапазон вимірювань: 0 … 25кГц;
- Напруга живлення: 10… 20 В постійного струму;
- Температурний діапазон: -40 … + 120 °С;
- Клас захисту: IP68;
- Сигнал: 4…20мА.

Вибір давача витрати повітря

В якості давача витрати повітря обираємо занурювальний витратомір Schmidt SS 20.260, який має характеристики, наведені в табл. 3.4.

Давач SS 20.260 задовольняє основну вимогу, таку як широкий діапазон виміру від близьких до нуля значень і до вкрай великих величин.

Таблиця 3.4 – Основні характеристики давача витрати повітря Schmidt SS 20.260

Робоча температура, °С	Напруга живлення, В	Вхідний струм, мА	Ступінь захисту	Вихідний сигнал, мА
-30…+120	24	<60	IP65	4…20

На рис. 3.6 зображена схема підключення давача витрати повітря Schmidt SS 20.260.

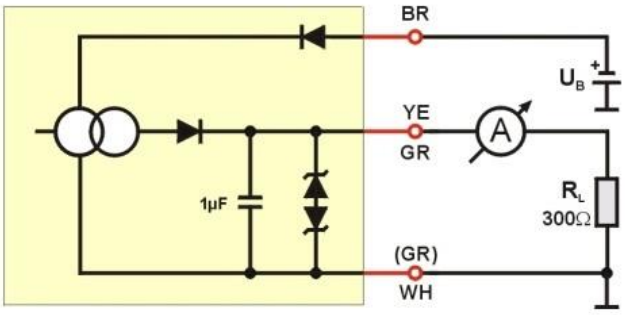

Рисунок 3.6 – Схема підключення давача витрати повітря Schmidt SS 20.260

Вибір давача положення шиберного засуву

Практика використання шиберних засувок на виробництві демонструє необхідність в контролі їх положення. Визначення позиції шибера допомагає забезпечити автоматичне відключення двигуна і захистити привід або сам засув від поломки. Давачі положення шиберної засувки монтуються на корпусі вузла шибера. Використовується для вимірювання ступеня відкриття шиберної засувки. Чутливий елемент давача положення шиберної засувки являє собою потенціометр, вісь якого жорстко пов'язана з віссю шиберної засувки.

На контакти живлення потенціометра подається опорна напруга + 5В, а рухливий контакт давача є сигнальним (рис. 3.7).

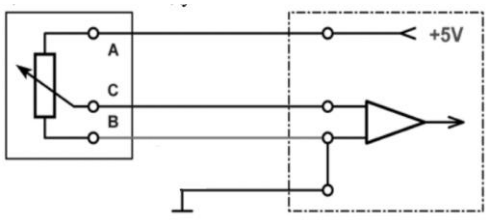

Рисунок 3.7 – Схема підключення давача положення

3.3 Вибір виконуючих механізмів

Вибір основного вентилятора

Вентилятор – основна частина вентиляційної системи. Для використання в бункерах для зерна зазвичай використовуються промислові радіальні вентилятори низького тиску. Наведемо кілька прикладів відповідних агрегатів з притаманними їм характеристиками(табл. 3.5):

Таблиця 3.5 – Промислові радіальні вентилятори низького тиску:

Модель	Напруга, В	Витрата повітря, $м^3/год$	Потужність, кВт	Частота обертів, об/хв
ВЦ 4-75 №6,3	380	17000	8	1500
Tornado DE 250 3F	380	20500	15	1900
Bahcivan OBR 260 M-2K	230	10000	11	1700
Вентс ВЦУН 500х229-11,0-4ПР	380	17250	11	1450

З перерахованих прикладів виберемо вентилятор Вентс ВЦУН 500х229-11,0-4ПР, який найкраще задовольняє представлені вимоги та є оптимальним варіантом за співвідношенням ціна/характеристики.

Технічні характеристики вентилятора ВЦУН 500х229-11,0-4ПР наведені в табл. 3.6:

Таблиця 3.6 − Технічні характеристики вентилятора ВЦУН 500х229-11,0-4ПР

Виробник	Вентс
Країна виробник	Україна
Тип конструкції промислового вентилятора	Радіальний (Відцентровий)
Продуктивність	17250 $м^3/год$
Частота обертів	1450.0 об / хв
Тиск	2400 Па
Електродвигун	AIP 100 L6
Максимальна запиленість повітря	100.0 мг/куб.м
Потужність	11 кВт
Напруга мережі	380 В
Сила струму	24 А
Ступінь захисту IP	55
Рівень шуму	85 дБА
Максимальна температура навколишнього середовища	60.0 град.
Мінімальна температура навколишнього середовища	-40.0 град.
Вага	107 кг

Схема (рис. 3.8) та габаритні розміри вентилятора (табл. 3.7):

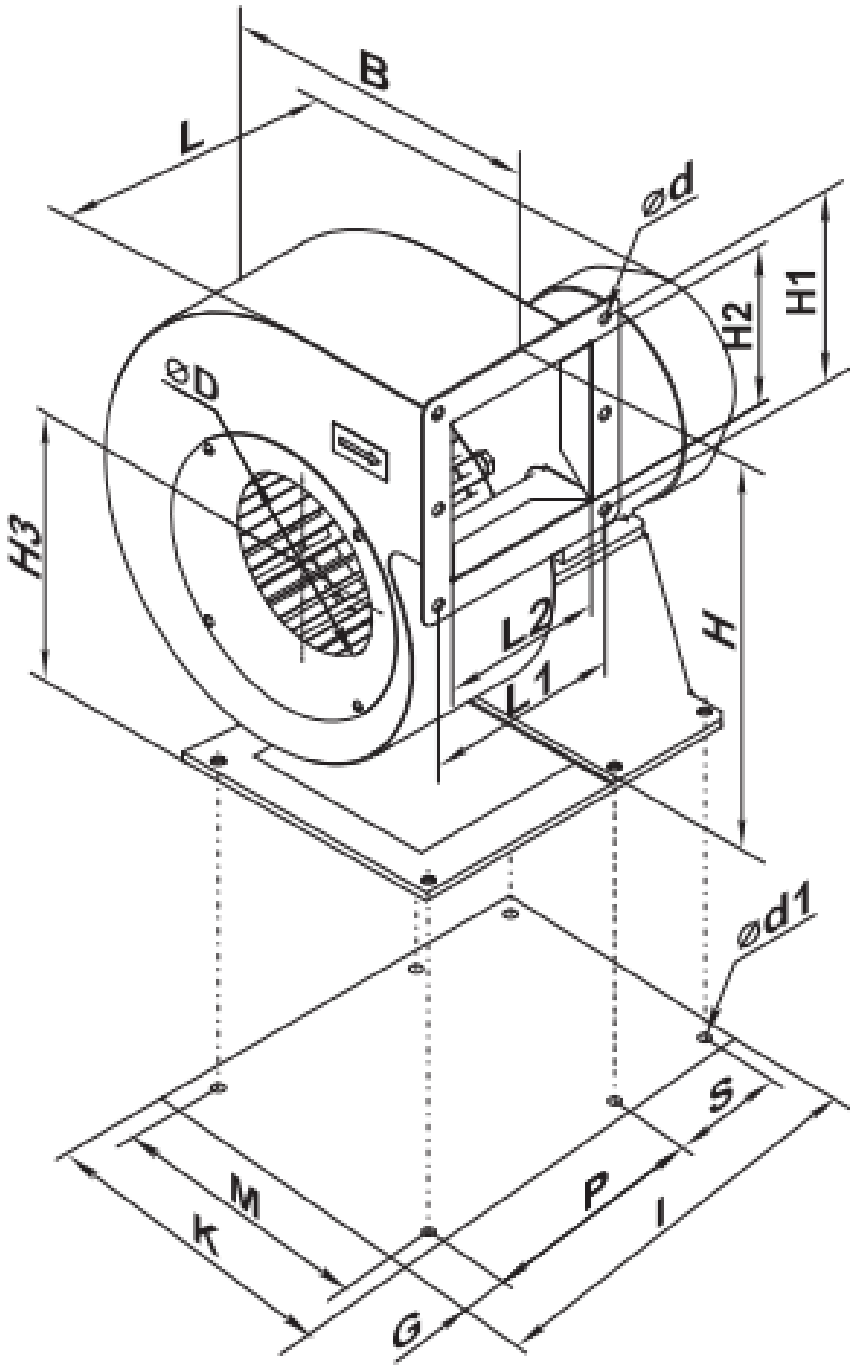

Рисунок 3.8 – Схема вентилятора ВЦУН 500х229-11,0-4ПР

Таблиця 3.7 − Габаритні розміри вентилятора ВЦУН 500х229-11,0-4ПР

Розміри, мм																
ØD	Ød	Ød1	B	H	H1	H2	H3	L	L1	L2	P	M	I	G	K	S
500	11	15	860	1115	390	341	534	761	401	353	408	500	645	42	580	178

Вибір повітронагрівача

Для підігрівання повітря всередині зерносховища було вирішено використати канальний нагрівач, який також носить назву калорифер, який являє собою установку, що використовується для підвищення температури повітря в замкнутому просторі.

Приклади електрокалориферів наведено в табл. 3.8.

Таблиця 3.8 – Калорифери

Модель	Напруга мережі, В	Вид енергоносія	Потужність, кВт	Клас захисту
Канал-ЭКВ-100-50-90	380В	Електрика	90	IP40
C-EVN-90-50-90	380В	Електрика	90	IP40
Канал-КВН-100-50	380В	Вода	81	-
SWH/AWH 100-50	380В	Вода	105	-

В якості повітронагрівача було вирішено використати електрокалорифер Канал-ЭКВ-100-50-90. Основною перевагою даного виду промислових калориферів є відсутність необхідності монтажу теплопроводів, як у випадку з водоповітряними і пароповітряними опалювальними агрегатами. Мають відносно не велику вагу, прості в експлуатації та обслуговуванні.

Характеристики:

- Виробник: ВЕЗА-Україна;
- Мінімальна продуктивність: 2800 $м^3/год$;
- Струм: 157,4 А;
- Вага: 35,6 кг;
- Ширина: 1000 мм;
- Висота: 500мм;
- Довжина: 500мм;

Вибір витяжних вентиляторів

Витяжні вентилятори представлені осьовими вентиляторами, які монтуються в дах силосу і служать для відводу відпрацьованого повітря. Приклади витяжних вентиляторів наведено в табл. 3.9.

Таблиця 3.9 – Витяжні вентилятори

Модель	Напруга, В	Продуктивність, $м^3/год$	Потужність, кВт	Тиск, Па	Частота обертів, об/хв
Bahcivan BDRAX 300-2K	230	10400	0,70	300	1700
ALASKA RQA 150FZY	230	6200	0,45	180	1200
VENTS OB 4E 550	230	8800	0,55	220	1300
Bahcivan BSMS 300-4K	230	7000	0,55	200	1400

Виберемо 4 середніх за потужністю і продуктивністю вентилятори українського виробника Вентс ОВ 4Е 550.

ВЕНТС ОВ 4Е 550 використовується в припливно-витяжних і витяжних системах вентиляції, протипожежних системах вентиляції, для прямого викиду відпрацьованого повітря. Мають двигун асинхронного типу з системою теплозахисту.

Технічні характеристики:

- Витрата повітря: 8800 м3 / год;
- Потужність вентилятора, Вт: 0,55 кВт;
- Діаметр патрубка: 550 мм;
- Параметри електроживлення: 1/230/50;
- Рівень шуму: 70 дБА;
- Діапазон температур повітря: від -30ºС до + 60ºС;
- Швидкість обертання вентилятора: 1300 об / хв.;
- Сила струму вентилятора: 2,6 А;
- Вага: 17 кг;
- Довжина, висота, ширина: 280/725/725 мм;
- Виробник: Україна.

Вибір шиберного засуву для витяжних вентиляторів

Шиберні засуви призначені для використання в якості запірно-регулюючих пристроїв у системах автоматичного регулювання технологічних процесів та дистанційного керування

в системах холодного та гарячого водопостачання, в системах опалення, вентиляції та кондиціонування.

Шибери для вентиляції зазвичай встановлюються на виході вентилятора, це найбільш поширене місце монтажу. Якщо заслінка і вентилятор встановлені разом, таку конструкцію називають пусковий шибер.

Шиберний засув поворотний для автоматичного перекриття потоку повітря ВЕНТС КРВ 550:

- Виробник: Вентс;
- Країна: Україна;
- Діаметр, мм: 550;
- Матеріал: Оцинкована сталь.

Вибір електричного однооборотного механізму

Механізми МЕО - однооборотні електричні виконавчі механізми, що забезпечують передачу крутного моменту на робочий орган арматури неповноповоротного принципу дії.

Механізми МЕО призначені для переміщення робочих органів запірно-регулюючої трубопровідної арматури поворотного принципу дії (кульові та пробкові крани, поворотні дискові затвори, заслінки і ін.) В системах автоматичного регулювання технологічними процесами різних галузей промисловості відповідно до командних сигналів, які надходять від регулюючих або керуючих пристроїв. Механізми встановлюються безпосередньо на арматуру.

Основні функції:

- автоматичне, дистанційне або ручне відкриття / закриття трубопровідної арматури;
- автоматична і дистанційна зупинка робочого органу арматури в будь-якому проміжному положенні;
- позиціонування робочого органу трубопровідної арматури в будь-якому проміжному положенні;
- формування інформаційного сигналу про кінцеві і проміжні положення робочого органу арматури і динаміку його переміщення;

Конструктивними основними деталями нелінійних механізмів є:

- двигун;
- привод ручний;
- редуктор;

- блок сигналізації положення.

Блок сигналізації положення вихідного вала призначений для перетворення положення вихідного вала механізму в пропорційний електричний сигнал, сигналізації або блокування в крайніх або проміжних положеннях вихідного вала.

До складу кожного блоку входять два основних вузли: блок мікроперемикачів і давач. Блок мікроперемикачів містить підставу, корпус з мікроперемикачами і вертикальний вал з кулачками. Один з кулачків має два профілі по Архімедовій спіралі на кутах 90 ° або 0-225 ° (0-0,25 об. або 0-0,63 об.). При повороті вала, кулачки, в залежності від його положення, натискають на кнопки мікроперемикачів. Поворот вала через профільний кулачок на валу викликає зміну вихідного сигналу давача положення.

Технічні характеристики електровиконуючого механізму представлені в табл. 3.10.

Таблиця 3.10 − Технічні характеристики МЕО 250/63-0,25

Тип механізму	Крутний момент, Н·м	Час повного ходу,с	Доля повного оберту	Живлен-ня	Потуж-ність, Вт	Маса, кг	Електро-двигун
МЕО-250/63-0,25	250	63	0,25	220В-50Гц	110	7	ДСОР-110-1.0-136

Вибір засувки рейкової

Вибираємо засувку рейкову електричну ЗРЕ-450.

Засувка рейкова електрична призначена для відкривання і закривання самопливних труб і випуску продукту з бункерів, силосів та технологічного обладнання.

Технічні характеристики:

- Позначення засувки: ЗРЕ-450;
- Перетин, мм: 450 × 450;
- Час відкривання засувки, с: 11;
- Встановлена потужність, кВт: 0,18;
- Габаритні розміри, мм: 1050 × 655 × 265;
- Маса, кг: 43.

Вибір частотного перетворювача

Для даної системи автоматизації було вирішено обрати частотний перетворювач Siemens Sinamics G120 (рис. 3.9).

В даний час, асинхронний електродвигун став основним пристроєм в більшості електроприводів. Все частіше для керування ним використовується частотний перетворювач–інвертор з ШІМ регулюванням. У нашій системі керування необхідно управляти частотою обертання двигунів основного вентилятора і витяжних вентиляторів.

Частотний перетворювач SIEMENS SINAMICS G120 – перетворювач модульного типу, що володіє широким функціоналом.

Конструкція пристрою включає кілька компонентів (модулів). Основні – це CU (блок керування) і PM (силовий блок).

CU забезпечує контроль над силовим компонентом, який, в свою чергу, пов'язаний з електродвигуном; крім того, система CU дає можливість використовувати різноманітні інтерфейси зв'язку для здійснення контролю і моніторингу стану електроприводу.

Залежно від необхідних параметрів потужності і функціональності модульні компоненти можуть вільно комбінуватися; діапазон потужностей досить великий – від 0,37 кВт до 250 кВт [18].

Технічні дані перетворювачів Sinamics G120

- Напруга живлення / потужність: 200 – 240В / 0,55 – 30 кВт; 11 – 55 кВт;
- Вихідна частота: 0 – 550Гц
- Допустиме перевантаження:
  - низьке перевантаження (LO): 150% на 3с плюс 110% на 57с за навантажувальний цикл в 300с
  - високе перевантаження (HO): 200% на 3с плюс 150% на 57с за навантажувальний цикл в 300с
- Ступінь захисту: IP55
- Конструкція: Модульний перетворювач, який має окремий керуючий модуль (CU) і силовий модуль (PM)
- Робоча температура: -10 до + 40 ° C без погіршення номінальних параметрів, +40 до + 60 ° C з погіршенням номінальних параметрів
- Максимальна вологість повітря: 95% (без конденсату)
- Тип управління: векторне
- Входи: 4 цифрових входів
  - біполярних / уніполярних аналогових входи, режим по току (0/4 … 20 мА) / напрузі (-10 … +10 В)
  - Аналогові входи можуть використовуватися як цифрові входи
- Виходи:

- 7 цифрових виходів
- 4 аналогових виходи, режим по току (0/4 … 20 мА), по напрузі (-10 …+10 В);

- Комунікаційні інтерфейси: USS / Modbus RTU, PROFIBUS DP, PROFINET, CANopen
- Гальмування: реостатне гальмування (вбудований гальмівний модуль), гальмування постійним струмом, змішане гальмування
- Стандарти: EAC, CE, CULus, C-tick, ГОСТ Р

Рисунок 3.9 – Частотний перетворювач Siemens Sinamics G120

На рис. 3.10 забражена схема підключення частотного перетворювача Siemens Sinamics G120.

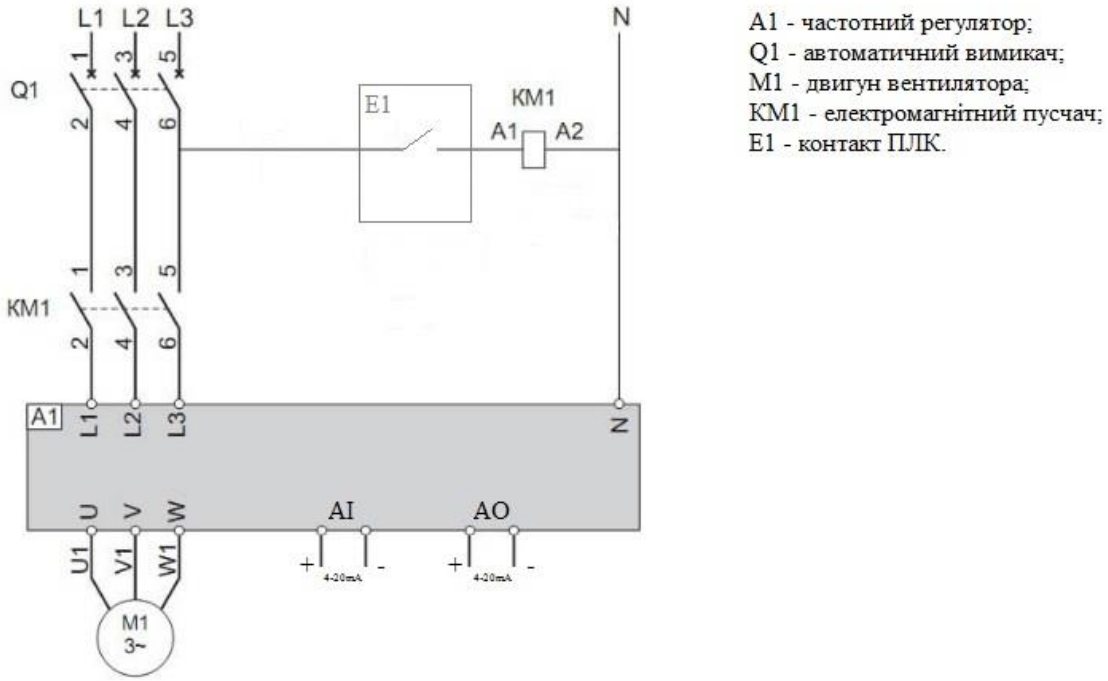

Рисунок 3.10 – схема підключення частотного перетворювача Siemens Sinamics G120

Вибір пристрою плавного пуску/зупинки асинхронного двигуна

Пристрої плавного пуску служать для розгону, уповільнення і захисту трифазних електродвигунів. Керування напругою, що подається на електродвигун, що реалізовується за рахунок регулювання кута відкривання тиристорів, дозволяє плавно запускати і зупиняти електродвигун.

Виберемо пристрій плавного пуску/зупинки SIEMENS SIRIUS 3RW30 14-1BB14.

Характеристики SIRIUS 3RW30:

- Номінальний струм, А: 6,5;
- Напруга ланцюга керування, В: 110-230;
- Фазність обладнання, що підключається: 3;
- Температура навколишнього середовища: -25…+60° С;
- Частота ланцюга живлення: 50-60Гц.

РОЗДІЛ 4
ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РЕГУЛЯТОРА КЛІМАТОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗЕРНОСХОВИЩА

Отримання передатної функції об'єкта керування

В результаті аналізу об'єкта керування з'ясовано, що головним параметром кліматозабезпечення є температура і вологість зерносховища. Завдання програмного керування цими параметрами зводиться до підтримки балансів потоків повітря, що надходить та видаляється з об'єкту. Складність стабілізації параметрів зберігання обумовлена виділенням вуглекислого газу, що утворюється в результаті зберігання продуктів і впливає на можливі терміни зберігання.

Регулювання здійснюється завдяки зміні положення засувок, змонтованих в каналах переміщення повітря. Більш точне формулювання завдання регулювання можливе на основі детального вивчення процесу зберігання і багатофакторного моделювання, що не входить в завдання цієї роботи.

Опис процесу обміну повітря

Виходячи із рівняння теплового балансу [19], що описує процес обміну потоками повітря, потрібна температура сховища визначається

$$t_{\text{см}} = \frac{F_{\text{ВОМ}} \cdot t_{\text{ТН}} + F_{\text{ЗП}} \cdot t_{\text{ЗП}}}{F_{\text{ВОМ}} + F_{\text{ЗП}}} \tag{4.1}$$

де $t_{\text{см}}$ - температура суміші повітря, $t_{\text{ТН}}$ – температура теплоносія вентиляційно-опалювального модуля, $t_{\text{ЗП}}$ – температура зовнішнього повітря, $F_{\text{ВОМ}}$ – масові витрати повітря ВОМ, $F_{\text{ЗП}}$ – масові витрати зовнішнього повітря.

Температуру теплоносія $t_{\text{ТН}}$ і температуру зовнішнього повітря $t_{\text{ЗП}}$ вважаємо незмінними на певному терміні часу, а температура повітря у сховищі залежить від масових витрат повітря з ВОМ і керованих шиберів.

Масові витрат зовнішнього повітря визначаються за формулою [19]:

$$F_{\text{ЗП}} = Q_{\text{ЗП}} \cdot \rho_{\text{ЗП}} \tag{4.2}$$

де $Q_{\text{ЗП}}$ – витрати зовнішнього повітря, $\rho_{\text{ЗП}}$ – щільність зовнішнього повітря.

Величина $\rho_{\text{ЗП}}$ обраховується по формулі

$$\rho_{\text{ЗП}} = \frac{353}{273 + t_{\text{ЗП}}} \tag{4.3}$$

Масові витрати повітря ВОМ визначаються за формулою [19]:

$$F_{\text{ВОМ}} = Q_{\text{ВОМ}} \cdot \rho_{\text{ТН}} \tag{4.4}$$

де $Q_{\text{ВОМ}}$ – витрати ВОМ, $\rho_{\text{ТН}} = 1000\,\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ – щільність теплоносія (води), калорифера ВОМ.

Математична модель системи розділяється на дві підсистеми:

Система керування витратами повітря ВОМ та система керування витратами повітря керованих шиберів. Температура та вологість системи оцінюються відповідними давачами.

Роботу підсистем координує керуюча система, що реалізована в ПК, яка формує керуючі впливи U_{3F} и $U_{3\alpha}$ на підсистеми керування ВОМ керованих шиберів. Збурюючими впливами для цієї системи є $t_{\text{ТН}}$ і $t_{\text{ЗП}}$. На рис. 4.1 представлена функціональна схема моделі системи, що реалізує складну функцію (4.1):

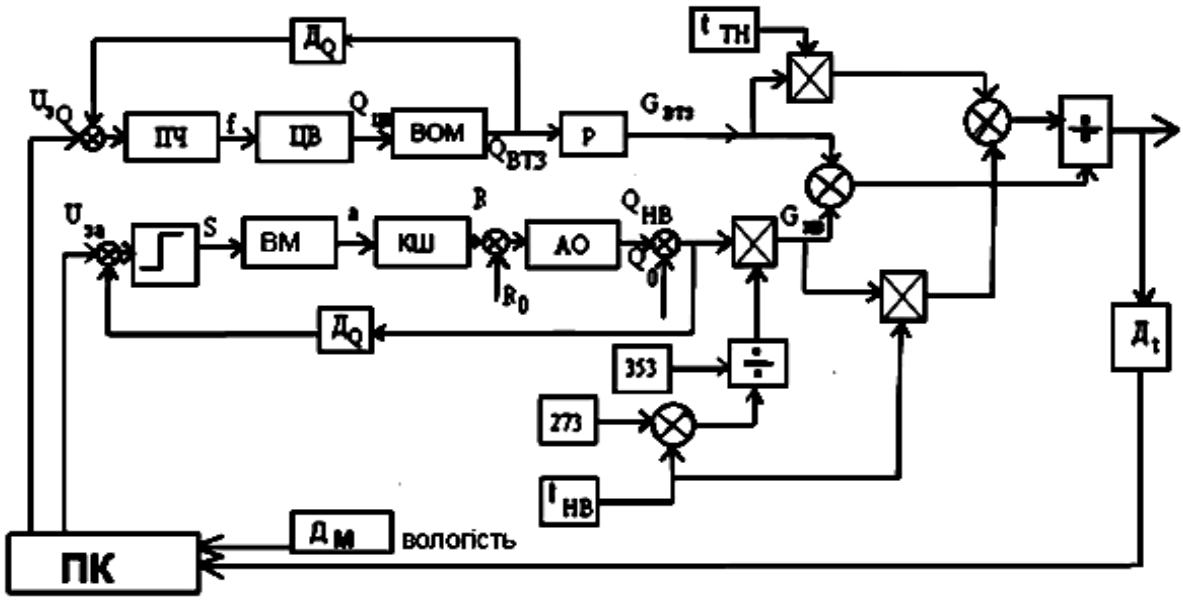

Рисунок 4.1– Функціональна схема моделі системи

До системи входять наступні елементи: регулятор (Р1), перетворювач частоти (ПЧ), асинхронний двигун(АД), відцентровий вентилятор, ВОМ, давач витрат повітря.

Математична модель керування витратами повітря ВОМ

При регулюванні продуктивності вентилятора об’єктом керування є вентиляційно опалювальний модуль, а параметром, що регулюється – витрата повітря, регулюючим впливом – частота обертів електродвигуна. Виходячи із розгляду процесу вентиляції, структурна схема математичної моделі контуру регулювання витрат ВОМ має вигляд, представлений на рис. 4.2.

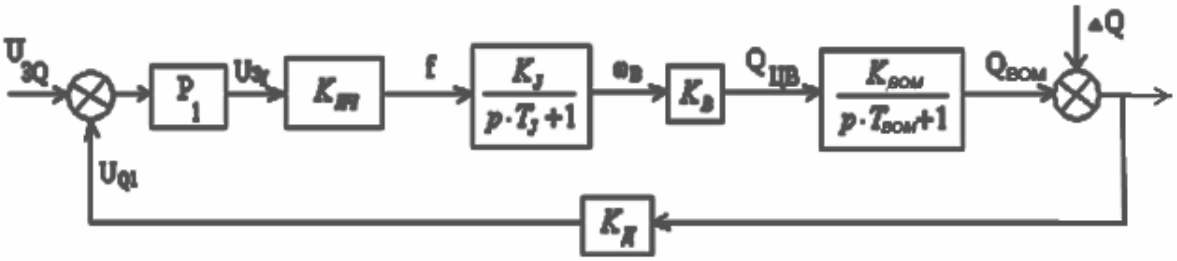

Рисунок 4.2 – Структурна схема моделі регулятора ВОМ

Ця модель складається із окремих ланок, що являють собою передатні функції елементів каналу керування ВОМ.

Передатні функції для усіх ланок:

$W_{ПЧ}(p)$ –$K_{ПЧ}$– коефіцієнт передачі частотного перетворювача;

$W_{АД}(p)$ –$K_{АД}$– коефіцієнт передачі АД; $W_{В}(p)$ –$K_{В}$– коефіцієнт передачі вентилятора;

$W_{ВОМ}(p)$ –$K_{ВОМ}(p)$ – коефіцієнт передачі ВОМ; $W_{Д}(p)$ –$K_{Д}$– коефіцієнт передачі давача.

Зазвичай агрегати кліматозабезпечення характеризуються значними сталими часу, тому при їх експериментальному визначенні допускають введення збурень не більше 5–10% номінального значення. Деякі сталі ланок досліджуваного ОК знаходимо із довідкової літератури, наприклад, сталу часу частотного перетворювача, електромеханічну сталу АД. Оцінку експериментальної сталої ВОМ отримують із перехідної характеристики діючої установки, вимірюючи витрати, стрибком змінюючи ступінь закриття засувки.

Передатна функція (без врахування збурень) має вигляд:

$$W_{ОК}(p) = \frac{K_{ПЧ} \cdot K_j \cdot K_В \cdot K_{ВОМ} \cdot K_Д}{(p \cdot T_j + 1) \cdot (p \cdot T_{ВОМ} + 1)} \quad (4.5)$$

де T_j – механічна стала часу АД; $T_{ВОМ}$ = 2с – стала часу перетворювача ВОМ

Структура системи керованих шиберів

Система керування шиберами містить наступні елементи: регулятор (Р), виконавчий механізм (ВМ) з безконтактним реверсивним пускачем (ПБР), керовані шибери (КШ), аеродинамічний об’єкт, давач витрат повітря.

Регулятор по сигналу завдання потрібного куту нахилу шиберів і сигналу зворотного зв'язку з давача UQ_2 подає команду на ПБР на включення ВМ вперед або назад. ПБР формує сигнал управління U_y виконавчим механізмом. ВМ змінює кут α повороту шиберів.

В результаті змінюються витрат повітря $Q_{НВ}$, що контролюються давачем витрат повітря. На рис. 9 представлена структурна схема регулятора КШ.

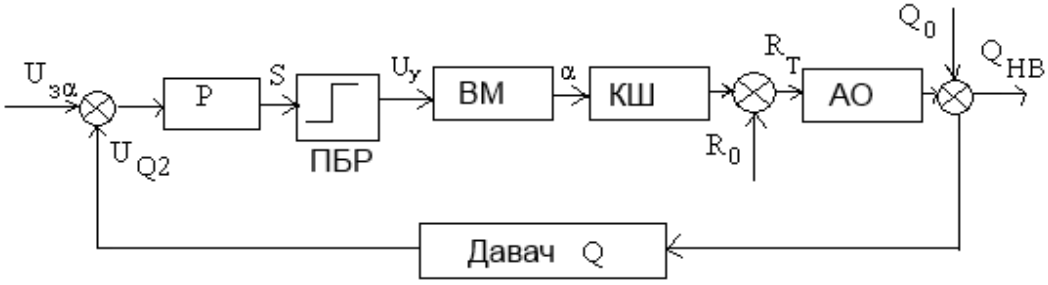

Рисунок 4.3 – Структурна схема регулятора КШ

В представленій схемі в якості ВМ використовується механізм виконавчий електричний однооборотний постійної швидкості (МЕО).

Керування механізмом – безконтактне з допомогою пускача ПБР-3А, який забезпечує пуск, реверс і захист 3-фазного АД від перенавантаження.

В залежності від сигналів: +24 В; 0 В; -24 В, що виробляє ПБР, електропривод обертається в ту чи іншу сторону (вперед або реверс), або зупинка (на вал АД накладаються гальма).

Математичним описом такого принципу керування є реле без зони нечутливості та представляється у вигляді:

$$U_y = c \cdot sign(S) \tag{4.6}$$

для ідеального реле, де S – поверхня переключення

Принцип роботи МЕО полягає в перетворенні електричного сигналу, що надходить від регулюючих і керуючих пристроїв, в обертовий рух вихідного вала. В дослідженнях розглядається механізм МЭО-250/63-0,25, що має наступні характеристики:

номінальний обертальний момент на вихідному валу, Н · м	250
номінальний час повного ходу вихідного вала, с	63
номінальний повний хід вихідного вала, об	0,25

Математичну модель МЕО, оскільки його вихідним параметром є кут повороту вала, можна представити у вигляді інтегратора з коефіцієнтом передачі K_m [20]. Входом для нього є U_y – керуючий сигнал з реле, а виходом – α – кут повороту вала.

Тоді передатну функцію ВМ можна записати у вигляді:

$$W(p) = \frac{\alpha(\mathrm{p})}{U_y} = \frac{K_m}{p} \tag{4.7}$$

Скориставшись довідковими даними про МЕО, отримаємо:

$$K_m = 0{,}00103\,\frac{\text{рад}}{[\text{В}\cdot\text{с}]} \tag{4.8}$$

Керовані шибери

Для оцінки параметрів каналу керування витратами повітря за допомогою шиберів проаналізуємо схему керування (рис. 2.4). Аеродинамічний опір каналу, що визначає витрати повітря, залежить від кута повороту шиберів, встановлених в каналі.

Рисунок 4.4 – Функціональна схема керування витратами повітря

$U_{\text{п}}$ – напруга живлення механізму; U_y – сигнал керування ВМ; α – кут повороту;

$R_{\text{п}}$ – аеродинамічний опір повітря; Q – витрати зовнішнього повітря.

Математична модель керованих шиберів представляється пропорційною ланкою, оскільки реактивними параметрами пристрою можна знехтувати.

Коефіцієнт перетворення КШ ККШ визначається із наступних умов:

вихідна величина $R[\frac{\text{Н}\cdot\text{с}^2}{\text{м}^8}]$ – аеродинамічний опір каналу, вхідна α [рад] – кут повороту керованих шиберів.

Значення аеродинамічного опору, розраховані по даним [21], представлені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 - Значення аеродинамічного опору

α, рад	0	0,26	0,52	0,79	1,05	1,31	1,57
$RT\cdot 10^{-3}, \frac{\text{Н}\cdot\text{с}^2}{\text{м}^8}$	1,6	1,748	1,832	2,046	2,327	2,791	3,304

Відповідно до табл. 4.1 графічна залежність R від α зображена на рис. 4.5.

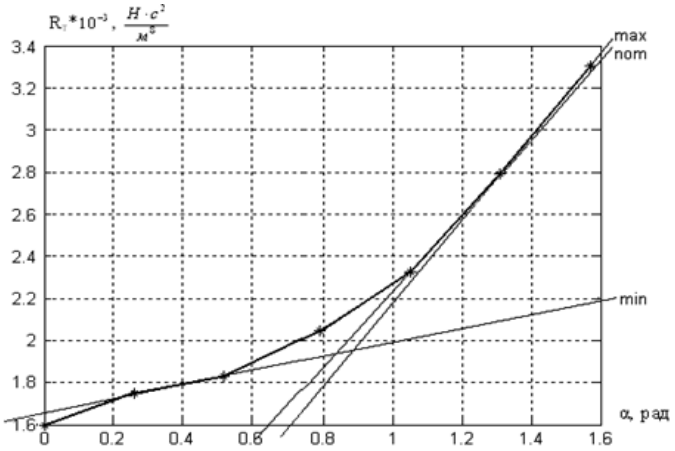

Рисунок 4.5 – Залежність аеродинамічного опору регулятора R від кута α

Для спрощення обчислень моделювання, можна лінеаризувати наведену функцію (рис.4.5) при несуттєвих похибках і розрахувати коефіцієнт регулятора:

$$\text{ККШ}_{min} = 0{,}00105;\ \text{ККШ}_{max} = 0{,}002$$

Номінальне значення коефіцієнта перетворення, відповідно до зазначеного діапазону відповідає $\text{ККШ}_{\text{ном}} = 0{,}00185\,\frac{\text{рад}\cdot\text{м}^8}{\text{Н}\cdot\text{с}^2}$

Враховуючи, що при α = 0 відповідає значення $R_0 = 0{,}4 \cdot 10^{-3}\,\frac{\text{Н}\cdot\text{с}^2}{\text{м}^8}$, схема моделювання характеристики RT = f(α) має вигляд, представлений на рис. 4.6:

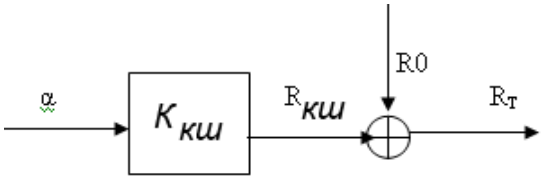

Рисунок 4.6– Структурна схема керування шибером

Аеродинамічний об'єкт

Аеродинамічний об'єкт – це частина підсистеми, що описує зв'язок витрат повітря Q в каналі із аеродинамічним опором R ділянки каналу.

Користуючись даними попередніх досліджень [22] математичну модель аеродинамічного об'єкту можна представити в якості аперіодичної ланки першого порядку.

Таким чином, передатна функція запишеться у вигляді:

$$W(p) = \frac{K_A}{T_A \cdot p + 1} \tag{4.9}$$

де ТА – стала часу, КА – коефіцієнт, що визначається по аеродинамічній характеристиці, як тангенс кута нахилу дотичної.

Аеродинамічна характеристика діапазону вимірювань ТА : 0,4 – 2,2с, отримана розрахунковим шляхом по даним [19], представлена в табл. 4.2, та на графіку рис. 4.7.

Таблиця 4.2 – Аеродинамічна характеристика діапазону вимірювань ТА : 0,4 – 2,2с

$RT \cdot 10^{-3}, \frac{\text{Н} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^8}$	1,6	1,748	1,832	2,046	2,327	2,791	3,304
$Q\text{П}, \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$	41,5	39,69	38,78	36,69	34,41	31,42	28,88

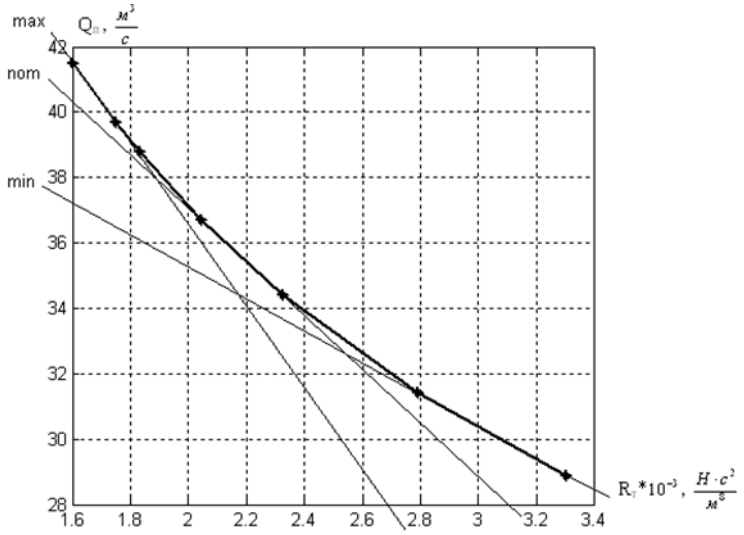

Рисунок 4.7 – Залежність витрати повітря від аеродинамічного опору

Як видно з графіка (рис. 4.7), залежність Q від R має нелінійний характер. При збільшенні аеродинамічного опору витрата повітря зменшується, що узгоджується з фізикою процесів, що протікають. Значить, коефіцієнт КА повинен відображати назад пропорційну залежність, тобто бути негативним.

Номінальне значення коефіцієнта перетворення діапазону $K_{A_{min}} = -4757{,}6$; $K_{A_{max}} = -11952{,}4$ складає $K_{A_{\text{ном}}} = -8074$.

Лінеаризація статичної характеристики аеродинамічного об’єкту Q = f(R) потребує врахування постійної складової $Q_0 = 53 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$.

Узагальнюючи наведені розрахунки параметрів ланок моделі ОК, отримуємо математичну модель системи керованих шиберів (рис. 4.8).

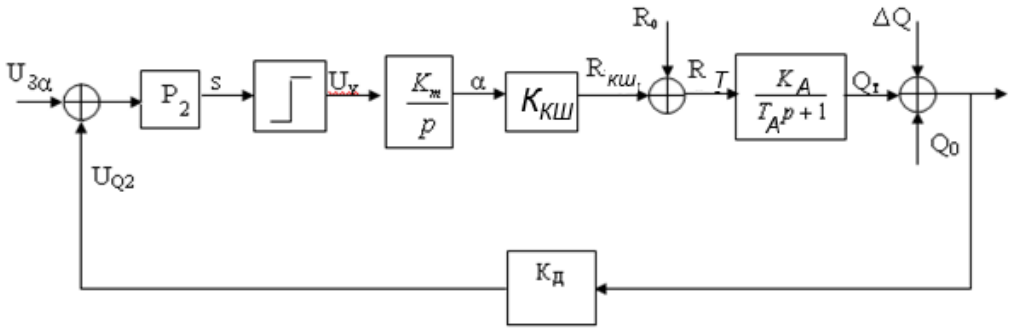

Рисунок 4.8 – Узагальнена математична модель системи керованих шиберів

Відповідно до рис. 4.8 вираз передатної функції математичної моделі системи керованих шиберів буде мати наступний вигляд:

$$Q(p) = \frac{K_m \cdot K_{PB} \cdot K_A \cdot K_Д}{p(T_A p + 1)} \cdot U_y(p) + K_Д \cdot \Delta Q \tag{4.10}$$

Позначимо y = Q і перейдемо від операторної форми представлення (4.10) до диференційного рівняння:

$$y'' T_A + y' = K_m K_{PB} K_A K_Д \cdot U_y + K_Д p(T_A + 1)(Q_0 + \Delta Q)$$

Тоді:

$$y'' = -\frac{1}{T_A} y' + \frac{K_m K_{PB} K_A K_Д}{T_A} U_y + \frac{K_Д}{T_A} \Delta Q'$$

Якщо ввести змінні станів

$$\begin{cases} y = x_1 \\ y' = x_1' = x_2 \end{cases}$$

То опис ОК в формі Коши, можна представити у вигляді.

$$\begin{cases} x_1' = x_2 \\ x_2' = -\frac{1}{T_A} x_2 + \frac{K_m K_{УШ} K_A K_Д}{T_A} U_y + \frac{K_Д}{T_A} \Delta Q' \\ y = x_1. \end{cases} \tag{4.11}$$

Дослідження регуляторів ВОМ

Завданням керування об’єктом є підтримка регулятором потрібного рівня витрат повітря в каналі подачі теплого повітря.

Вимоги , що висуваються до якості перехідних процесів в системі керування ВОМ : $t_{П-}$ ≈10 с, σ≈30%, Δ≈5%

Математична модель об’єкта ВОМ представляється як послідовне з’єднання двох аперіодичних ланок.

$$W_0(p) = \frac{7}{(3p + 1)(2p + 1)} \tag{4.12}$$

Схема моделювання в середовищі MatLab зображена на рис. 4.9, а перехідна характеристика розімкнутого і замкненого контуру регулювання – на рис. 4.10.

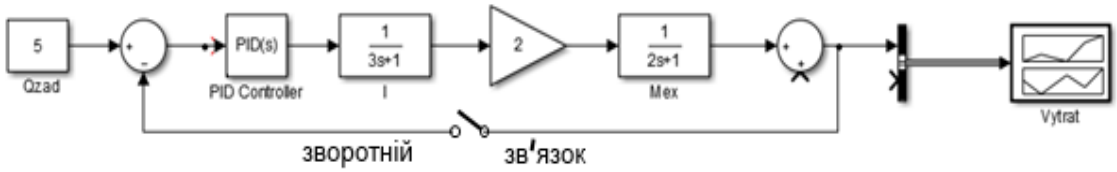

Рисунок 4.9 – Схема моделювання параметра витрат повітря без включення регулятора

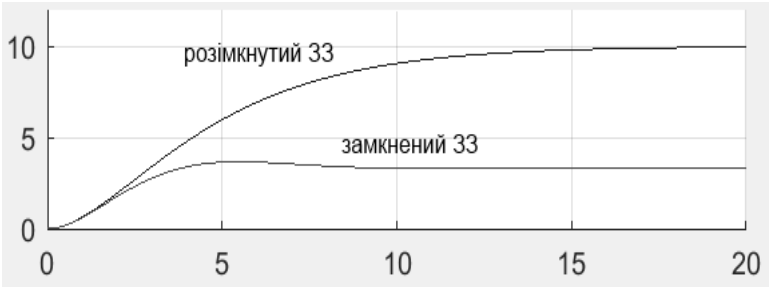

Рисунок 4.10 – Перехідний процес ОК із розімкненим і замкнутим зворотнім зв'язком (ЗЗ)

Користуючись опцією MatLab, налаштуємо параметри PID – регулятора, що включений в послідовне коло схеми, за класичними принципами. Тоді перехідний процес з послідовним регулятором із коефіцієнтами P = 0,95; I = 0,27; D = 0,71 буде мати вигляд, зображений на рис. 4.11.

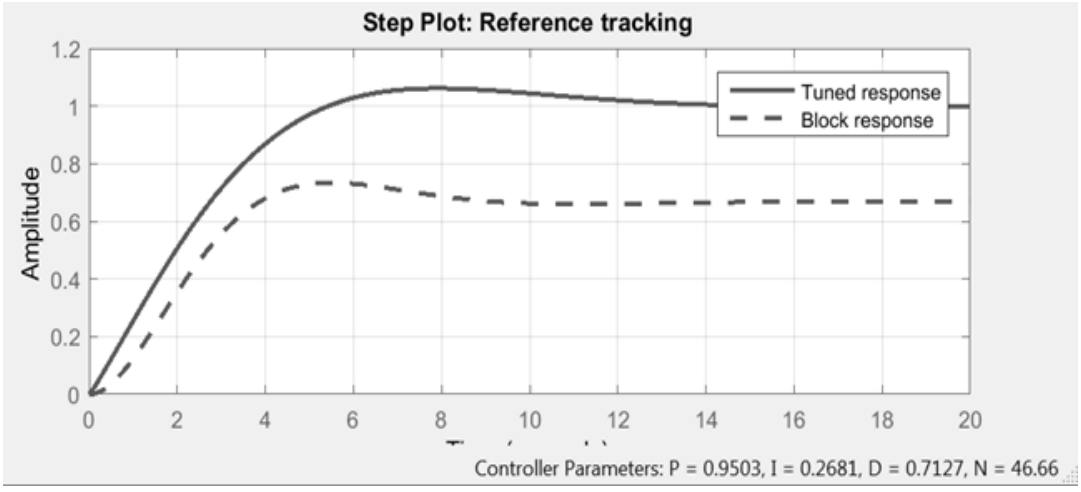

Рисунок 4.11 – Перехідний процес ВОМ при класичних налаштуваннях

Не задовольняючись класичними налаштуваннями PID – регулятора, оптимізуємо вигляд перехідної характеристики по мінімальному часу перехідного процесу, слідкуючи за значенням перерегулювання, отримаємо характеристику, зображену на рис. 4.12.

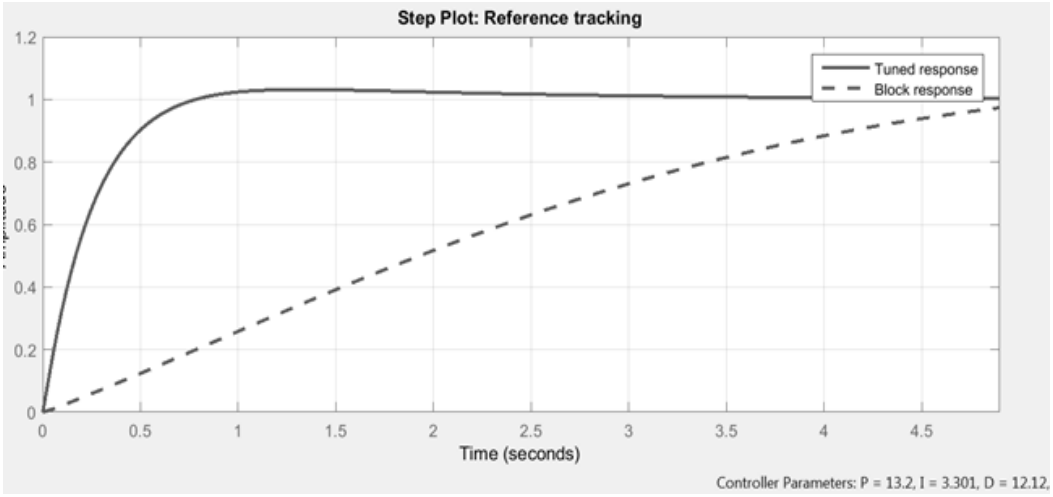

Рисунок 4.12 – Перехідний процес ВОМ при оптимальних налаштуваннях

Коефіцієнти оптимальних налаштувань мають значення: P = 13,2; I = 3,3; D = 12,1.

Наступним кроком досліджень регулятора є перевірка відпрацювання збурень ОК. Для цього до вихідного значення параметру з допомогою імпульсного генератора додамо збурюючі значення параметра з періодом 8 с, як зображено на схемі рис. 4.13.

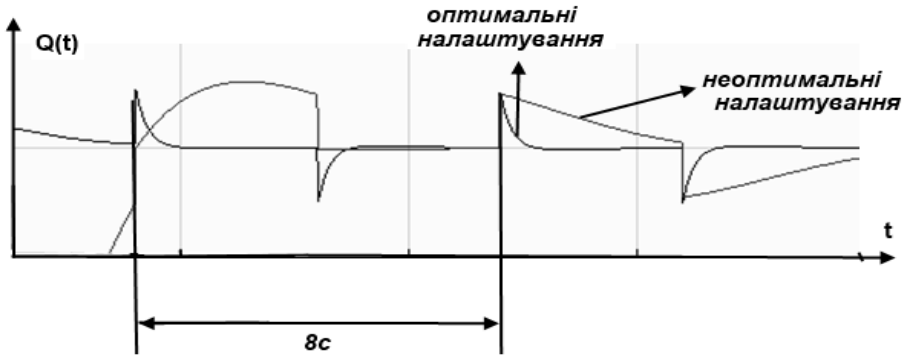

Рисунок 4.13 – Відпрацювання збурень при різних налаштування PID – регулятора

Із рис. 4.13 видно, що налаштування PID – регулятора, що є оптимальними по тривалості перехідного процесу та по перерегулюванню більш ефективно мінімізують дію збурень, ніж при налаштуваннях регулятора по методу Зіглера-Нікольса.

Дослідження регуляторів керованих шиберів

Метою функціонування синтезованої системи керування є підтримання необхідних витрат повітря в каналі транспортування повітря зерносховища. Вимоги, що пред'являються до якості перехідних процесів:

час перехідного процесу	$t_п \leq 160c$
абсолютна похибка регулювання	$\Delta \leq 2\%$

перерегулювання $\sigma \leq 10$

Для досягнення поставлених вимог необхідно визначити структуру і параметри регулятора, що забезпечує параметри статики і динаміки при дії збурень та похибки вимірювань витрат повітря.

Із аналізу математичної моделі системи керованих шиберів витікає, що основним пристроєм що формує сигнал керування, є релейний елемент (РЕ) з безконтактним реверсивним пускачем (ПБР). Така схема регулювання пов'язана із специфікою функціонування МЕО.

Ця особливість призводить до необхідності застосування релейного закону керування об'єктом. Через недостатність інформації про модель об'єкта, тобто об'ємів потоків, кратності обміну повітря і діючих збурень, задовольнити сформульовані вимоги на базі вирішення завдання оптимального швидкодії важко. Тому, синтез системи керування можна здійснити на основі організації змінного режиму, так як в цьому випадку вид перехідного процесу залежить тільки від виду різноманіття і не залежить від параметрів об'єкта і збурень.

Якщо вхідна величина РЕ представляє собою відхилення ε від заданої величини Q, то статична характеристика двохпозиційного РЕ описується виразом

$$u = \begin{cases} U_{\text{м}} & \text{при } (\varepsilon > \delta \text{ и } \dot{\varepsilon} > 0) \\ 0 & \text{при } (\varepsilon < \delta \text{ и } \dot{\varepsilon} > 0) \end{cases}$$

Параметрами налаштування двохпозиційного релейного регулятора є параметр δ, що визначає ширину петлі гістерезису статичної характеристики, і максимальне значення вихідної величини U_m релейного елемента.

На рис. 2.14 показана схема моделювання релейного регулятора, який відповідно до зміни витрат включає переміщення шибера, а на рис. 4.15(а) – осцилограма змін витрат при відсутності збурень та при їх дії, а на рис. 4.15(б) осцилограма включення / відключення релейного блоку, що керує МЕО.

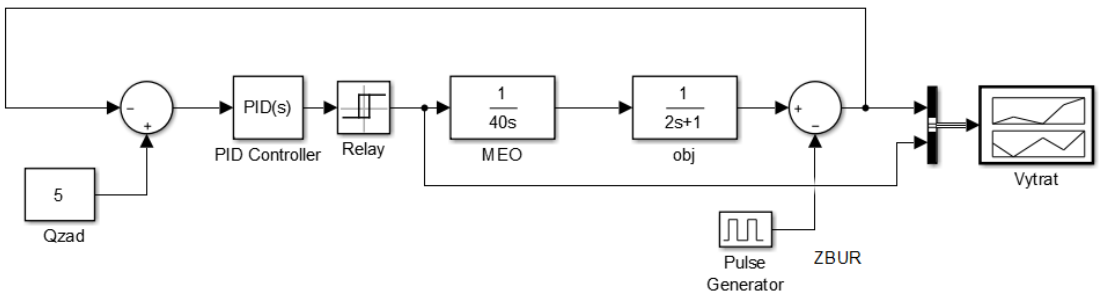

Рисунок 4.14 – Модель релейного регулятора

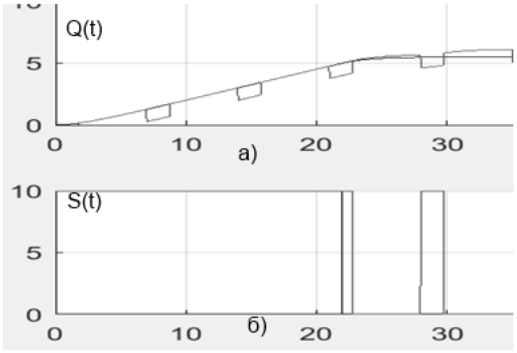

Рисунок 4.15– Осцилограми сигналів релейного регулятора

Із рис. 4.15 видно, що вид перехідних процесів відповідає поставленим вимогам, але для більш ефективного відпрацювання збурень необхідні додаткові налаштування регулятора, наприклад використання 3-х позиційного керування.

Крім того вбачаючи те, що від регулятора не вимагається високих динамічних параметрів, на практиці для продовження терміну роботи виконавчого механізму використовують реле с зоною нечутливості, вплив якої нейтралізує автоколивальний режим і зменшить частоту включення МЕО.

РОЗДІЛ 5
РЕАЛІЗАЦІЯ SCADA СИСТЕМИ

5.1 Вибір ПЛК та інтерфейсів

Як і будь-яка сучасна АСУ ТП, наша система має трирівневу структуру.

Нижній рівень – рівень обладнання (входів / виходів – Input / Output-level). Це рівень давачів, пристроїв, які контролюють керовані параметри, а також пристроїв, які впливають на ці параметри процесу, для приведення їх у відповідність із завданням. На цьому рівні здійснюється узгодження сигналів давачів з входами пристрою керування, а команд, що виробляються з виконавчими пристроями.

Середній рівень – рівень керування обладнанням (Control level). Це рівень контролерів. ПЛК постійно отримує дані з контрольно-вимірювального устаткування та давачів про існуючий стан технологічного процесу і видає команди керування, відповідно до запрограмованого алгоритмом керування, на виконавчі механізми.

Верхній рівень – рівень промислового сервера, мережевого устаткування, рівень операторських і диспетчерських станцій. Саме на даному рівні відбувається контроль процесу виробництва, а саме забезпечується зв’язок з нижніми рівнями, де здійснюється збір інформації, візуалізація та диспетчеризація (моніторинг) ходу процесу. Це рівень HMI, SCADA. На цьому рівні задіяна людина, тобто оператор (диспетчер). Вона здійснює локальний контроль технологічного обладнання через так званий людино-машинний інтерфейс (HMI – Human Machine Interface). До нього відносяться: монітори, графічні панелі, які встановлюються локально на пультах керування і шафах автоматики. Для здійснення контролю за розподіленою системою машин, механізмів і агрегатів застосовується SCADA (Supervisory Control And Data Acqusition – диспетчерське керування і збір даних) система. Ця система являє собою програмне забезпечення, яке налаштовується і встановлюється на диспетчерських комп’ютерах. Вона забезпечує збір, архівацію, візуалізацію, найважливіших даних від ПЛК. При отриманні даних система самостійно порівнює їх із заданими значеннями керованих параметрів і при відхиленні від завдання повідомляє оператора за допомогою тривог, дозволяючи йому вжити необхідних заходів. При цьому система записує все, що відбувається, включаючи дії оператора, забезпечуючи контроль дій оператора в разі аварії або іншої нештатної ситуації. Таким чином, забезпечується персональна відповідальність керівника оператора [23].

Структурна схема розробленої системи представлена на кресленні СУ.м-71.151.14 А1.

Апаратною платформою АСУ ТП обрано програмований контролер S7-300 виробництва Siemens. Розроблений на базі модульної, що розширюється, архітектури для задач керування в теперішньому часі. Системи, створені на базі даного ПЛК можуть змінюватися від найпростіших одиночних систем керування (до 448 точок вводу / виводу) до складних розподілених мереж (до 64 000 точок вводу / виводу).

Контролер Siemens в першу чергу має модульну структуру. Контролер у своєму складі повинен містити процесорний модуль та блок живлення. Окрім вищесказаного існує можливість установки близько 10 інтерфейсних модулів, які обираються відповідно до правил об'єкта керування. Будь-який інтерфейсний модуль повинен виступати в якості закінченого пристрою. Крім узгодження інтерфейсів зв'язку і трансформації протоколів дає можливість резервувати канали зв'язку в різноманітних комбінаціях (але слід враховувати певні обмеження: резервування каналу вимагає наявності схожих протоколів зв'язку).

Будь-який апаратний інтерфейсний модуль контролера можна вважати інтелектуальним приладом (тобто він містить у своєму складі процесор) і дає можливість перетворювати інформацію підтримуваного протоколу в вид, очевидний для відповідного драйверу модуля. Драйвери ж поміщають отримані дані в загальну для всього контролера спеціальну базу даних, яка називається «база сигналів». Подання інформації в цій базі однакове. Виконуюча система розподіляє інформацію по різним драйверам і програмам відповідно до вищевказаних правил перетворення. Інформація, що прибуває на вхід драйверів, направляється до наступних апаратних модулів, звідки і передається назовні відповідно до вказаного протоколу.

Програмовані контролери Siemens SIMATIC S7-300 відзначаються модульною конструкцією і містять у собі наступні елементи:

• Модуль центрального процесора (CPU). В залежності від складності запиту в контролерах можуть використовуватися різні типи центральних процесорів, які різняться між собою, в першу чергу, продуктивністю, об'ємом пам'яті, наявністю або відсутністю вбудованих входів-виходів і типових функцій, кількістю і видом вбудованих комунікаційних інтерфейсів та ін.

• Блоки живлення (PS) – відповідають за живлення контролера від мережі змінного струму напругою від 120В до 230 В або від джерела постійного струму різними показниками напруги (24/48/60/110 В).

• Сигнальні модулі (SM) – необхідні для введення та виведення дискретних або аналогових сигналів з різними електричними та часовими характеристиками.

• Комунікаційні модулі(CP) дають можливість підключитися до мереж PROFIBUS, Industrial Ethernet, AS-Interface або встановити зв’язок по PtP (point to point) інтерфейсу.

• Функціональні модулі (FM) необхідні для самостійного вирішення запитів автоматичного регулювання, позиціювання та обробки сигналів. Функціональні модулі у своєму складі містять вбудований мікропроцесор і реалізують покладені на них функції навіть якщо центральний процесор програмованого логічного контролера відмовився від виконання даної функції [23].

Нами було обрано ПЛК з процесором 317-2 PN / DP, характеристики якого наведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 − Технічні характеристики модуля процесора 317-2 PN / DP

Робоча пам’ять		1 Мб
Завантажена пам’ять MMC		64Кб-8Мб
Час виконання операцій, мкс.	Логічних	0,05
	З фіксованою точкою	0,2
	З плаваючою точкою	1
Кількість таймерів/лічильників		512/512
Кількість каналів введення/виведення, аналогових/дискретних		65536/4096
Вбудовані інтерфейси		MPI/DP+PROFINET
Кількість активних комунікаційних з’єднань		32
Габаритні розміри, мм		160,125,130

Також Siemens контролери підтримують додаткові інтерфейсні модулі, призначені для додавання наступних інтерфейсів: Modbus, Modbus Plus, TCP / IP Ethernet та інших. Встановлення мережі Modbus Plus дає можливість встановлювати контролери Siemens в якості рівноправних вузлів в індустріальній мережі на основі RS - 485. Програмовані контролери Siemens SIMATIC S7-300 дозволяють застосовувати в своєму складі не більше 32 сигнальних і функціональних модулів, а також комунікаційних процесорів.

В конфігурації контролера задаються норми маршрутизації даних з модулів-джерел в модулі-приймачі. Задаються, в першу чергу, наступні правила: протокольні адреси сигналів та клас даних. Окрім вищевказаного, в конфігурації визначаються характеристики ініціалізації програмних і апаратних модулів, таких, як швидкість функціонування в каналах для дротових цифрових мереж та таблиці опитування.

Комунікаційні Можливості

- прийом та передача даних по інтерфейсах RS-232, RS-485/422, Ethernet, V.23, стик С1-ТЧ;
- підтримка протоколів: Ethernet TCP / IP, Modbus (RTU, TCP), ГОСТ Р МЕК 870-5101, ГОСТ Р МЕК 608070-5-104;
- наявність веб-інтерфейсу;
- підтримка бездротової передачі інформації на базі стандарту GSM, Глобалстар;
- сполучність з існуючими системами на основі ПЛК, мережами та засобами операторського інтерфейсу.

Функції, що можуть бути реалізовані:

- співставлення інтерфейсів зв'язку;
- трансформація певного протоколу в інший або декілька інших;
- перерозподіл даних кількох потоків;
- резервування каналів зв'язку;
- надійна робота навіть на низькошвидкісних каналах зв'язку;
- естафетний характер передачі даних;
- робота з SCADA-системою на базі OPC-інтерфейсу;
- незалежна робота в режимі без обслуговування.

Апаратні особливості:

- модульна система з можливістю змін інтерфейсів, що підключаються;
- резервування джерела живлення та процесорного модуля;
- так звана «гаряча» заміна модулів;
- значна міцність за рахунок реалізації в металевому корпусі.

Програмні особливості:

- середовище програмування Simatic Step 7;
- відповідає стандарту IEC 61131-3;
- підтримка декількох (5) мов програмування;
- призначена для користувача розробка і налагодження прикладних програм;
- моніторинг і редагування в режимі реального часу.

Переваги:

- достатньо широкий вибір інтерфейсних модулів;
- підтримка стандартних промислових протоколів і інтерфейсів;
- відкритість архітектури програмного забезпечення;
- висока швидкість обробки та передачі даних;
- гнучка апаратна платформа.

Вибір інтерфейсного модуля

Інтерфейсні модулі використовуються для побудови багаторядних конфігурацій контролера що включають в свій склад один базовий блок (CR) і до трьох стійок розширення (ER). З'єднання між стійками виконуються за допомогою інтерфейсних модулів:

- IM 365: для підключення до базового блоку однієї стійки розширення. У стійці розширення може бути розміщено до 8 модулів.
- Інтерфейсні модулі IM 360 / IM 361 і IM 365 дозволяють створювати багаторядні конфігурації програмованих контролерів S7-300 (від CPU 313C, CPU 314 і вище), в яких модулі введення-виведення розміщуються не тільки в базовому блоці, але і в стійках розширення. Модулі IM 360 і IM 361 дозволяють підключати до одного базового блоку контролера до 3 стійок розширення . У стійці розширення може бути розміщено до 8 модулів.

Було обрано інтерфейс ний модуль IM 361, оскільки для підключення термопідвісок нам необхідно дві стійки розширення, в кожній з якій можна розмістити до 8 модулів.

Вибір сигнальних модулів

Модулі вводу аналогових сигналів SM 1231 RTD необхідні для аналого-цифрового перетворення вхідних аналогових сигналів опору і формування цифрових величин, що використовуються центральним процесором в процесі виконання програми.

До входів модулів можуть бути підключені термометри опору.

Оберемо модулі 6ES7231-5PF32-0XB0, які містять 8 входів.

Модулі вводу аналогових сигналів типу SM 331 необхідні для аналого-цифрового перетворення вхідних аналогових сигналів контролера та формування цифрових величин, що використовуються центральним процесором в разі виконання програми.

До входів модулів можуть підключатися давачі з уніфікованими вихідними електричними сигналами напруги або сили струму, термопари, термометри опору.

Виберемо модуль SM 331-1KF01, який містить 8 входів.

Модулі введення дискретних сигналів SM 321 забезпечують перетворення вхідних дискретних сигналів контролера в внутрішні логічні сигнали. До входів модулів мають можливість підключатися контактні або ж безконтактні давачі BERO.

Модулі SM 321 можуть працювати в системах локального введення-виведення всіх модифікацій програмованих контролерів S7-300, а також в станціях розподіленого вводу-виводу ET 200M.

Виберемо модуль SM 321-1BH02, який містить 32 входи.

Модулі виводу дискретних сигналів SM 322 призначені для перетворення внутрішніх логічних сигналів контролера в його вихідні дискретні сигнали. До виходів модулів можуть підключатися виконавчі пристрої або їх комутаційні апарати.

Виберемо модуль SM 322-1BH01, який містить 16 виходів.

Модулі аналогових виходів SM332 застосовуються для видачі аналогового сигналу у вигляді струму або ж напруги на механізми, що виконують функції. До виходів модулів можуть підключатися виконавчі пристрої, керовані уніфікованими сигналами сили струму або напруги.

Модулі SM 332 можуть працювати в системах локального введення-виведення всіх модифікацій програмованих контролерів S7-300, а також в станціях розподіленого вводу-виводу ET 200M.

Виберемо модуль SM 332-5HB01, який має 4 виходи, яких буде досить для задоволення потреб нашої системи.

Вибір інтерфейсу

В якості головного інтерфейсу для організації системи керування технологічним процесом зберігання зерна виберемо PROFIBUS-DP.

PROFIBUS-DP - це відкрита система шин, яка відповідає стандартам IEC 61784-1: 2002 Ed1 CP 3/1 з протоколом передачі «DP» (DP – це «децентралізована периферія»).

Фізично PROFIBUS-DP представляє собою електричну мережу на базі екранованої 2-провідної лінії, або ж оптичну мережу на основі волоконно-оптичного кабелю.

Протокол передачі «DP» може забезпечувати швидкісний, циклічний обмін інформацією між CPU контролером та периферійними приладами.

Master-пристрій DP (DP-master) встановлює зв'язок CPU контролера з периферійними приладами. DP-master обмінюється інформацією з периферійними пристроями, використовуючи PROFIBUS-DP, а також контролює систему шин PROFIBUS-DP.

Децентралізовані периферійні системи (slave-пристрої DP) готують інформацію давачів і виконавчих елементів на місці, щоб їх можна було передати за допомогою PROFIBUS-DP в CPU контролера.

До PROFIBUS-DP можна підключати найрізноманітніші пристрої як в якості master-пристроїв DP, так і в якості slave-пристроїв DP, за умови, що їхня поведінка відповідає стандарту IEC 61784-1: 2002 Ed1 CP 3/1. Можуть застосовуватися такі пристрої:

- SIMATIC S5;
- SIMATIC S7 / M7 / C7;
- Пристрій програмування SIMATIC або ПК;
- Людино-машинний інтерфейс SIMATIC, або ЧМІ (HMI = humanmachine interface) (панель оператора, OP; станція оператора, OS; текстовий дисплей, TD);
- Пристрої інших виробників.

5.2 Програма керування процесом зберігання зерна

Для розробки програмного забезпечення (ПО) сучасних програмованих логічних контролерів (ПЛК), що мають вбудовану операційну систему, можна використовувати як традиційні інструментальні засоби (компілятори мов СІ, Паскаль, і т.д.), так і спеціалізовані мовні засоби.

Програмування на мові низького рівня (Асемблер) та мовами високого рівня вимагає програміста високої кваліфікації, додаткових знань особливостей операційної системи і апаратних засобів. Переносимість програм на іншу аппартного-програмну платформу погана [24].

Програми, написані на спеціалізованих мовах, мають повну переносимість на інші процесори (за наявності системи виконання спеціалізованої мови), більш наближені до особливостей систем автоматизації і не вимагають додаткових знань від розробника. STEP 7 – це базовий пакет програм, що включає в свій склад весь спектр інструментальних засобів, необхідних для конфігурації апаратури і промислових мереж, налаштування параметрів, програмування, діагностики та обслуговування систем керування, побудованих на основі програмованих контролерів SIMATIC S7-300 / S7-400 / C7 / WinAC.

Відмінною особливістю пакета STEP 7 є можливість розробки комплексних проектів автоматизації, що базуються на використанні безлічі програмованих контролерів, промислових комп'ютерів, пристроїв і систем людино-машинного інтерфейсу, пристроїв розподіленого введення-виведення, мережевих структур промислового зв'язку. Обмеження на розробку таких проектів накладаються тільки функціональними можливостями програматорів або комп'ютерів. При необхідності STEP 7 може доповнюватися інструментальними засобами проектування, що значно спрощують розробку складних проектів.

У STEP 7 закладена методологія структурного програмування, що дозволяє користувачеві представити автоматизований процес в найбільш легкій і зрозумілій формі. Стандартом МЕК 61131-3 визначається п'ять мов: три графічних (SFC, FBD, LD) і два текстових (ST, IL). Всі ці мови програмування інтегровані в єдину інструментальну середу і працюють з єдиними об'єктами даних.

SFC – графічна мова послідовних функціональних схем. Керуюча програма представляється послідовністю кроків, поділюваних переходами. Мова добре пристосована для програмування задач логічного керування.

LD – графічна мова релейної логіки (Ladder Diagram). Мова LD застосовується для опису логічних виразів і для вирішення завдань у вигляді релейно-контактних схем автоматики.

ST – мова структурованого тексту (Structured Text). Це мова високого рівня, по синтаксису схожа на Паскаль і застосовується для програмування складних логічних і обчислювальних процедур, які важко описати графічними мовами.

FBD – графічна мова функціональних блокових діаграм, за допомогою якої програма представляється у вигляді різних функціональних блоків (арифметичних, тригонометричних, регуляторів, мультиплексорів і т.д.) Мова зручна для програмування задач, наприклад, обчислювального характеру, рішення яких може бути представлено функціональною схемою.

IL – мова інструкцій (Список команд) – мова низького рівня, схожа на Асемблер і є високоефективною для невеликих програм або для оптимізації окремих частин складних програм при наявності вимог високої швидкодії, економії пам'яті [25].

Алгоритм програми для керування виконавчими механізмами наведено в додатку А.

SCADA – процес збору інформації реального часу з віддалених точок для обробки, аналізу і можливого керування віддаленими об'єктами. Вимоги обробки реального часу

обумовлюються необхідністю доставки всіх необхідних подій і даних на центральний інтерфейс оператора (диспетчера). Прообразом сучасної системи SCADA на ранніх стадіях розвитку АСУ є системи телеметрії і сигналізації. Всі сучасні SCADA системи включають 3 основних структурних компонента:

- RTU (Remote Terminal Unit) – віддалений термінальний пристрій (нижній рівень АСУТП: промислові комп'ютери, ПЛК);

- MTU (Master Terminal Unit) – диспетчерський пункт управління (верхній рівень);

- CS (Communication System) – комунікаційна система [26].

Основні завдання, які вирішуються SCADA-системою:

- Забезпечення обміну даними в реальному часі з об'єктом – промисловими контролерами, термінальними пристроями;

- Обробка даних в реальному часі (масштабування змінних);

- Візуалізація на моніторах і терміналах ходу технологічного процесу в зручній для людини формі;

- Забезпечення зберігання технологічної інформації в базі даних реального часу;

- Ведення контролю технологічних параметрів;

- Реалізація аварійної сигналізації і протоколу тривожних подій;

- Генерація звітів про хід перебігу технологічних процесів;

- Надання даних зовнішнім системам рівня управління підприємством.

Основні вимоги до SCADA систем:

1. Надійність системи (технологічність і функціональність);

2. Безпека керування;

3. Точність обробки і представлення даних;

4. Простота розширення системи;

Вимоги безпеки і надійності керування в SCADA включають:

1. Ніяка одинична відмова обладнання не повинна викликати помилкового вихідного впливу на об'єкт керування;

2. Ніяка одинична помилка оператора не повинна викликати видачу помилкового вихідного впливу на об'єкт керування;

3. Всі операції по керуванню повинні бути інтуїтивно зрозумілими і зручними для оператора.

Характеристики альтернативних варіантів SCADA систем наведені в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Характеристики альтернативних варіантів SCADA систем

Назва SCADA	Вартість драйвера для зв'язку з контролером, грн	Вартість технічної підтримки, грн	Наявність безкоштовного середовища розробки	Функції виконавчого модуля	Ціна виконавчого модуля, грн
InTouch V10	49000	Безкоштовно	ні	Моніторинг, керування, архівування	304000
TraceMode V6	Безкоштовно	Безкоштовно	є	Моніторинг, керування	45000
Master SCADA V3.1	38000	6000 /рік	є	Моніторинг, керуння, архівування	55000
iFix V4	34000	60000 \рік	є	Моніторинг, керування, архівування	242000
GENESIS 32 V9	37000	136000\рік	є	Моніторинг, керування, архівування	336000

Вибір SCADA системи можна проводити відповідно до характеристик, зазначеним в табл. 5.1.

Аналізуючи дані наведені в табл. 5.2 можна виділити систему Trace Mode V6, як найдешевшу з розглянутих. Однак у функції виконавчого модуля не входить архівування даних, що визначає вибір Master SCADA V3.1.

Мнемосхема системи автоматизованого керування технологічним процесом зберігання зерна приведено на рис. 5.1.

Екран термометрії SCADA системи автоматизації технологічного процесу зберігання зерна в силосі приведено на рис. 5.2.

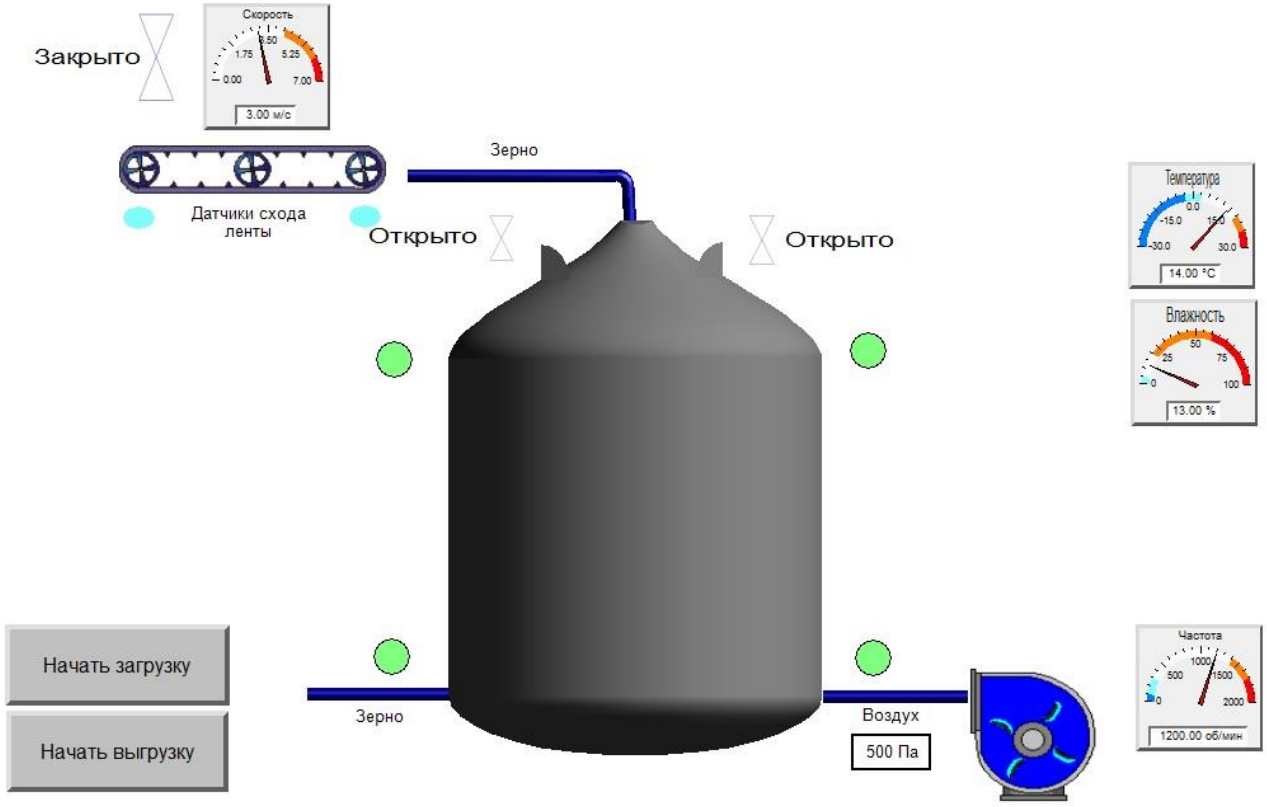

Рисунок 5.1 − Мнемосхема системи автоматизованого керування технологічним процесом зберігання зерна

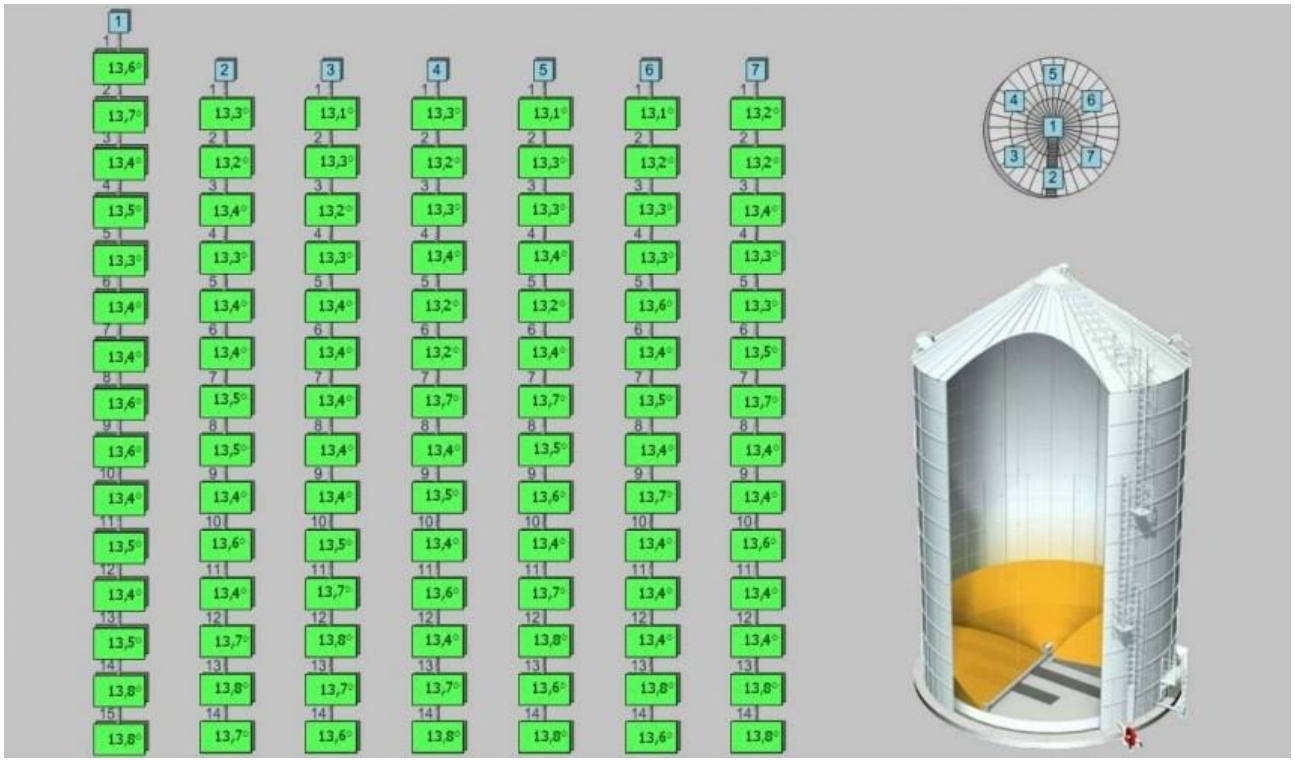

Рисунок 5.2 − Екран термометрії SCADA системи автоматизації технологічного процесу зберігання зерна в силосі

РОЗДІЛ 6
ОХОРОНА ПРАЦІ

Техніка безпеки

1. Загальні вимоги безпеки

1.1. До роботи апаратником зі зберігання зерна допускаються особи що досягли повноліття, які завчасно пройшли медичний огляд, а також прослухали вступний інструктаж з ОП. Вони зобов'язані пройти інструктаж безпосередньо на робочому місці, для вивчення інструкції та безпечних методів роботи. Ця процедура має тривати протягом 12-15 змін під керівництвом змінного майстра або іншого робітника зі стажем роботи з механізмом не менше 3-х років. Більше того, ці робітники повинні мати допуск до самостійної роботи та посвідчення по ТБ.

1.2. Апаратник зі зберігання зерна працює під безпосереднім керівництвом змінного майстра, чітко і своєчасно втілює його розпорядження.

1.3. Навіть новий працівник зобов'язаний слідувати правилам внутрішнього трудового розпорядку підприємства, відмовитися від вживання алкогольних, наркотичних та інших токсичних речовин. Палити дозволяється тільки в спеціально відведених для цього місцях, за межами виробничими будівель та споруд. Працівник мусить орієнтуватися і виконувати правила безпеки при використанні ліфту. Під час ходьби по сходах слід міцно триматися за поручні. Дотримуватися запобіжних заходів при пересуванні по території комбінату.

1.4. При здійсненні певних функцій на робочому обладнанні на працівника можуть впливати різні небезпечні і шкідливі виробничі чинники:

- високий ступінь запиленості навколишнього повітря в межах робочої зони;
- рухомі механізми приводів;
- робочі зони конвеєрів, норій;
- підвищені показники напруги електричного поля і статичної електрики.

1.5. При підвищеному рівні запиленості повітря і наявності відкритого полум'я або інших джерел підвищеної температури в приміщенні може відбутися вибух пило-повітряної суміші.

1.6. Працівник, відповідальний за роботу механізму зберігання зерна відповідно до галузевих правил безплатної видачі спецодягу та засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) забезпечується наступним:

- бавовняним костюмом із пилонепроникної тканини (відповідно ДСТУ 12.4.085-80, ДСТУ 12.4.086-80);
- бавовняним шоломом з пилонепроникного матеріалу;
- черевиками з натуральної шкіри;
- бавовняними рукавицями;
- респіратором;
- взимку – курткою, оснащеною утеплювальною підкладкою (ДСТУ 12.4.088-80).

1.7. Працівник зобов'язаний:

- знати діючу інструкцію;
- знати правила пожежної безпеки;
- правильно та своєчасно користуватися спецодягом та ЗІЗ;
- знати і дотримуватися норм особистої гігієни;
- своєчасно контролювати режим роботи устаткування, аспірації, припливно-витяжної вентиляції, роботи засобів автоматики та блокування.

1.8. Про будь-який, навіть найнезначніший нещасний випадок робітник зобов'язаний повідомити змінному майстру або начальнику елеватора, максимально зберігаючи обстановку на місці ЧП і стан устаткування таким, яким воно було в момент аварії, якщо це не загрожує здоров'ю і життю працівників і не призведе до повторної аварії .

1.9. Працівник несе безпосередню відповідальність за недотримання вимог даної інструкції в порядку, встановленому Правилами внутрішнього трудового розпорядку організації і нині діючим законодавством України.

2. Правила безпеки перед початком роботи

2.1. Перш ніж розпочати роботу, працівник зобов'язаний одягнути спецодяг, ретельно заправити його, щоб не було звисаючих кінців, волосся слід прибрати під головний убір.

2.2. Поцікавитися у змінника про якість функціонування всього технологічного, транспортного устаткування, виявлення під час попередньої зміни несправностей і які вживалися заходи щодо їх усунення.

2.3. Провести ретельний огляд приміщення та обладнання.

2.4. Перш ніж розпочати роботу слід перевірити:

- працездатність засобів заземлення;
- справність електроапаратури, проводів та засобів сигналізації шляхом зовнішнього огляду;

- запевнитися, що не проводиться ремонт механізмів.

2.5. У випадках виявлення несправностей необхідно повідомити про це змінного майстра та виконувати усі його вказівки.

2.6. Про запуск роботи устаткування попередити робітників спеціальною попереджувальною сигналізацією та шляхом застосування гучномовного зв'язку.

2.7. Дотримуватися вимог виробничої санітарії на робочому місці.

3. Вимоги безпеки під час робочої зміни

3.1. Під час взаємодії з технологічним обладнанням забороняється:

Самостійно, без вказівки керівництва проводити ремонт обладнання;

3.2. При раптовій зупинці устаткування слід повідомляти змінного майстра та чергового електромонтера.

3.3. У разі виникнення завалу в обладнанні необхідно відразу зупинити подачу сировини (зерна), виявити та ліквідувати неполадки, так як подальша робота з механізмом може привести до аварії та нещасних випадків.

3.4. забороняється:

- проводити ремонтні роботи, очищення вібраторів приводу, індикатора наявності зерна до повної зупинки механізму;
- надягати приводні ремені, якщо електродвигун працює;

3.5. Очищення шнека також проводиться лише під час повної зупинки обладнання.

3.6. Приводні вали, шківи, редуктори, муфти, які відповідають за рух шлюзових затворів, слід надійно обгородити.

3.7. Випробування обертання крильчатки шлюзового затвора необхідно проводити від руки за кінець вала. Обертання крильчатки, хватаючись лопатей забороняється.

3.8. При попаданні в шлюзовий затвор сторонніх об’єктів або завалу шлюзового затвора, вилучення цього предмета або ліквідація завалу слід проводити лише після зупинки обертання крильчатки.

3.9. Для безпечного використання вентилятора робітник зобов’язаний слідкувати за безшумною роботою і нагріванням підшипників, натяжних приводних ременів, за приєднанням всмоктуючого воздухопроводу до вентилятора. Температура корпусів підшипників вентилятора та іншого устаткування не повинна перевищувати 40-45°С у робочому стані. При раптовому підвищенні цього показника підшипники слід оглянути (разом зі слюсарем-ремонтником) і по можливості заповнити новим мастилом.

3.10. Вентилятори у нормальному стані мають працювати плавно, без стуку, шуму та інших нетипових звуків.

3.11. При завалі норії треба для спочатку вимкнути електродвигун. Розчищати черевик норії слід за допомогою спеціального скребка. Він повинен знаходитися в руці працівника вільно, фіксувати його до кисті руки строго забороняється.

3.12. Всі гарячі повітроводи зерносушарки, дифузори і вентилятори, розташовані в цехах, доступних для робітників підприємства, мають бути вкриті спеціальною теплоізоляцією. Температура зовнішніх поверхонь цих механізмів не повинна перевищувати 45°С.

4. Правила безпеки в аварійних ситуаціях

4.1. Аварії або нещасні випадки можуть виникнути в наступних ситуаціях:

- поява нетипових звуків під час функціонування обладнання;
- попадання сторонніх предметів в робочий простір норій, ланцюгових конвеєрів, установок для лущення, шлюзових затворів, сушарок сепараторів;
- пошкодження, іскріння, та поява відкритого полум’я на електричній проводці або електрообладнанні;
- поява вібрації в механізмах і трубопроводах;
- попадання в робочу зону предметів працівників (захоплення частин тіла або спецодягу).

4.2. У разі аварійній ситуації, коли треба зупинити технологічний маршрут, слід спочатку знеструмити його, повідомити про те, що сталося начальника цеху або головного механіка чи змінного майстра. Біля місця ЧП слід вивісити оголошення: "Не вмикати! Працюють люди.". Особливо важливо, щоб цей надпис був присутній на пусковій кнопці і в РП.

4.3. Наступний запуск можна проводити лише після ліквідації усіх несправностей, очищення технологічного і транспортного обладнання. Для пуску слід отримати дозвіл начальника цеху або змінного майстра.

4.4. У разі виникнення аварій необхідно:

- кнопкою аварійної зупинки відключити і знеструмити все технологічне, транспортне устаткування, у тому числі і вентиляційні системи;
- шляхом використання кнопки звукової сигналізації слід повідомити про ЧП весь обслуговуючий персонал;
- терміново ввімкнути аварійне освітлення;

- активізувати автоматичний режим пожежної сигналізації;
- вивести робітників, які не беруть участі в подоланні проблем за межі небезпечної зони;
- повідомити про те, що трапилося змінного майстра, начальника елеватора, взяти безпосередню участь в ліквідації аварії;
- надати у разі потреби першу медичну допомогу потерпілому: штучне дихання, накладення пов'язок на відкриту рану, джгути із зазначенням часу при кровотечах, і при необхідності викликати працівників лікарні за номером телефону 103.

5. Правила безпеки після закінчення робочої зміни

5.1. Про будь-які порушення техніки безпеки слід повідомити змінного майстра або начальника цеху.

5.2. Повідомити колегу-змінника про особливості роботи технологічного устаткування, про можливі неполадки і заходи вжиті для їх ліквідації.

5.3. Після закінчення зміни апаратник зобов’язаний привести в порядок своє робоче місце і заховати робочий одяг в спеціально відведений для цього гардероб.

5.4. Перед перевдяганням в особистий одяг рекомендується прийняти гігієнічний душ.

5.5. Залишатися в цеху або в межах території комбінату після закінчення робочої зміни без дозволу змінного майстра або начальника цеху не дозволяється.

РОЗДІЛ 7
ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ

Зберігання зерна – важкий та трудомісткий процес, який вимагає постійного контролю за основними технологічними показниками та постійної зміни регулюючих параметрів.

Автоматизація зерносховищ – не єдиний вихід з ситуації. Значно дешевшим способом є звичайне зберігання зерна в стандартних металевих силосах. При виборі такого шляху можна досягти значної економії матеріальних засобів, оскільки єдиною необхідною витратою є витрата на будівництво силоса. Проте, в цьому випадку не уникнути псування зерна.

Оскільки збереження кількості та якості зерна є основною метою зберігання, то слід все ж піти на певні додаткові витрати. Тож, наступним варіантом зберігання зерна буде механізований силос. Додатковими витратами виявляться кошти на купівлю вентиляторів для провітрювання та охолодження зерна, витяжних вентиляторів для створення системи активної вентиляції та видалення вологи з силосу.

При такому підході до зберігання зерна можна досягти більшого коефіцієнту збереження, проте людині доведеться власними силами за допомогою показуючи приладів слідкувати за параметрами, що впливають на якість зберігання зерна, та в залежності від зміни цих параметрів вмикати чи вимикати виконуючі механізми, змінювати їх режими роботи.

Отже, це не є ідеальним варіантом. Значно більшої ефективності можна досягти шляхом автоматизації процесу зберігання зерна. Цей варіант найбільш коштовний, оскільки потребує додаткових витрат на купівлю ПЛК, давачів, налагодження інтерфейсів зв’язку та створення SCADA системи. Проте в цьому випадку керування процесом зберігання здійснюється за заданим законом. Перше, що можна з цього отримати – це звільнення людини від завдань збору показань технологічних параметрів та зміни керуючого впливу, а отже і звільнення від можливості людської помилки.

Енергоефективність також є важливим фактором, і система дає можливість її підвищити шляхом:

- роботи виконуючих механізмів лише тоді, коли це дійсно необхідно та з такою потужністю, якої буде достатньо;

- використання пристроїв плавного пуску для запуску агрегатів;

- можливості керувати розподілом електроенергії;

- контролю якості електроенергії;

- забезпечення необхідного електричного захисту для запобігання пошкоджень дорогого електротехнологічного обладнання;

- виявлення резервів за рахунок аналізу протікання процесу;

- зменшення втрат від простоїв за рахунок розвинених засобів діагностики і т.п.

Термін окупності системи автоматизації процесу зберігання зерна в силосі не повинен перевищити 2 років, оскільки призведе до значної економії електроенергії, підвищить термін служби виконуючих механізмів, підвищить якість продукти та мінімалізує втрати зерна.

Тож, найдорожчий на перший погляд спосіб організації процесу зберігання зерна повністю виправдує себе, оскільки розширює функціональність системи, уточнює керування основними технологічними параметрами, підвищує енергоефективність та знижує ризик випадкових помилок.

ВИСНОВКИ

Завдання автоматизації комплексу по зберіганню зерна на сьогоднішній день є досить актуальним. Сучасні засоби АСУ ТП зернопереробних підприємств забезпечують зниження втрат при зберіганні і переробці зерна, заощадження енергоресурсів зернопереробних підприємств, елеваторів, мінімізацію впливу людського фактора, ризиків виникнення аварійних ситуацій роботи автоматизованих технологічних комплексів по зберіганню і переробці зерна. Останні розробки в області АСУ ТП зернопереробної галузі дають можливість автоматично прогнозувати процес самозігрівання зерна, що є дуже необхідним в забезпеченні підвищення ефективності зберігання зерна.

В результаті виконання роботи були досягнуті наступні результати:

1. Проведено конструктивно-технологічний аналіз процесу зберігання зерна в силосі;
2. Розроблено схему інформаційно-матеріальних потоків;
3. Проаналізовано функціональні задачі керування;
4. Розроблено структурну схему та функціональну схему автоматизації системи автоматизованого керування процесом зберігання зерна в силосі;
5. Реалізовано вибір давачів та виконуючих механізмів;
6. Досліджено параметри регулятора кліматозабезпечення зерносховища;
7. Реалізовано SCADA-систему.

В результаті дослідження параметрів регулятора кліматозабезпечення зерносховища було досягнуто покращення показників зберігання зерна та підвищення енергоефективності процесу.

Отримані результати можуть бути використані для створення аналогічних систем, або модернізації існуючих.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Boumans G. Grain handling and storage. – Amsterdam; New York : Elsevier, 1985. – 436p.
2. Е.М.Вобликов. Технология элеваторной промышленности: Учебник. – СПб.: Издательство «Лань», 2016. – 384 с.
3. Технологія зберігання зерна з основами захисту від шкідників / Н. М. Осокіна, І. І. Мостов'як, О. П. Герасимчук, В. В. Любич та ін. – Умань; Київ : СІК ГРУП УКРАЇНА, 2016. – 248 с.
4. Активне вентилювання та сушіння зерна [Текст] : навч. посіб. / О. І. Гапонюк, М. В. Остапчук, Г. М. Станкевич, І. І. Гапонюк. – Одеса : ВМВ, 2014. – 326 с.
5. Maier DE. Preservation of grain with aeration. In: Grain Drying in Asia. Champ BR, Highley E, Johnson GI eds. ACIAR Publication 71, 1996. – 397p.
6. Подпрятов Г. І. , Рожко В.І., Скалецька Л.Ф. Технологія зберігання та переробки продукції рослинництва: підручник. – К.: Аграрна освіта, 2014. – 393 с.
7. McFarlane JA. Storage methods in relation to post-harvest losses in cereals. – Insect Sci Appl, 1988. – 854 p.
8. Технологічне обладнання зернопереробних та олійних виробництв / О.В. Дацишин, А.І. Ткачук, О.В. Гвоздєв; ред.. О.В. Дацишина. Навчальний посібник. – Вінниця: Нова Книга, 2013. – 488с.
9. Сільськогосподарські будівлі та споруди [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://bibliograph.com.ua/spravochnik-44/16.htm
10. Krishnamurthy TS, Majumder SK. A comparative evaluation of some storage bins for rural grain storage. – J Ind Acad Wood Sci, 1978. – 327 p.
11. Соколов А. Я. Технологическое оборудование предприятий по хранению и переработке зерна / А. Я. Соколов, В. Ф. Журавлев. - М.: Колос, 2014. – 445с.
12. Пузік Л. М. Технологія зберігання і переробки зерна. / Л. М. Пузік, В. К. Пузік. – Х.: Точка, 2013. – 311 с.
13. Занько М. Правильний контроль зерна під час зберігання / М. Занько // Пропозиція. – 2015. – С. 104 – 107.
14. Gewinner J, Harnisch R, Muck O. Manual on the Preservation of Post-Harvest Grain Losses. – GTZ, Eschborn, 1996. – 294 p.
15. Трисвятский Л. А. Хранение зерна / Л. А. Трисвятский – М.: Агропромиздат, 2013. – 351 с.

16. Harris KL, Baur FJ. Rodents. In: Storage of Cereal Grains and Their Products. Sauer DB, ed. American Association of Cereal Chemistry, St. Paul, MN, 1992. – 434 p.

17. Автоматизація елеваторів та зерносховищ [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.elevatorasu.com/asu_tp/automatization.php

18. SINAMICS G120 [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://bibliograph.com.ua/spravochnik-44/16.htm

19. Гуртовцев А. Комплексная автоматизация энергоучета на промышленных предприятиях и хозяйственных объектах. Современные технологии автоматизации №3. – 1999. – С. 33 – 34.

20. Норенков И.П. Системы промышленной автоматизации. // Информационные технологии. №11. – 2001. – С. 7 – 14.

21. Попов В. П. Системы вентиляции и кондиционирования воздуха. Ленинград, 1970. – 476 с.

22. Зедгенизов Д.В. Исследование системы автоматического регулирования регулирования производительности шахтного вентилятора. Доклад на симпозиуме «Неделя горняка». – Москва : МГГУ. – 2001.

23. Radvanovsky R, Brodsky J. SCADA / ControlSystems Security. – CRC Press, 2013. – 383p.

24. Кангин В. В. Разработка SCADA–систем. Программные аспекты. – Lambert Academic Publishing, 2015. – 472 с.

25. Stenerson J, Deeg D. Siemens Step 7 (TIA Portal) programming, a Practical Approach. – CreatSpace Independent Publishing Platform, 2015. – 294p.

26. Куцик А. С., Місюренко В. О. Автоматизовані системи керування на програмованих логічних контролерах. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 200с.