

Міністерство освіти і науки України  
Шосткинський інститут Сумського державного університету  
Факультет заочної форми навчання  
Кафедра системотехніки та інформаційних технологій

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Зав. кафедри

Худолей Г.М.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2021р.

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**

Система управління процесом виготовлення цегли

Керівник проекту:  
(ст.викладач, к.т.н)

Сердюк І. В.

Дипломник:  
студент групи СУз-71ш

Єврах О. О.

## ВСТУП

Історія цегли нараховує тисячі років, адже перші свідчення про використання цього матеріалу відносяться до 2-3 століття до нашої ери. Уже тоді робочі в Єгипті використовували глиняні бруски для зведення різних споруд. Проте, до XIX століття техніка виробництва цегли була примітивною - все робили вручну, а сушили цеглу і зовсім тільки влітку. За все своє довге життя технологія виготовлення керамічної цегли зазнала не так багато змін, але удосконалень пережила безліч. До початкового ручного формування і природній сушці цегли додався випал. Лише до кінця 19-го століття процес виробництва цегли вдалося багато в чому автоматизувати і зробити цілорічним. Сьогоднішні заводи з виробництва цегли - це складні автоматизовані системи, що працюють цілий рік. Але і на сьогоднішній день до повної автоматизації виробництва далеко.

Так чи інакше, цегла глиняна пластичного пресування була і залишається найпоширенішим стіновим керамічним матеріалом.

Виготовляється вона з чистої глини, або з добавками вигоряючих (мелене вугілля, тирса, торф) і не пластичних матеріалів (крупнозернистий пісок, шамот, шлак). Легкоплавкі глини, основна сировина для виробництва цегли, при нагріванні до 800 - 10000С градусів набувають властивостей каменю, що і робить їх затребуваними в будівельному виробництві.

# 1 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ

## 1.1 Аналіз структури об'єкта управління

В основі процесів пластичного формування систем, що складаються з високодисперсних мінеральних часток і пластифікуючих рідин (або суспензій, емульсій, гелів), лежить цілий комплекс досить складних фізико-хімічних явищ. Незважаючи на велику кількість виконаних досліджень, теоретичні основи цих процесів, а також методи оцінки формувальних властивостей розроблено ще недостатньо.

Ступінь випалу впливає на водо- і морозостійкість цегли. Недопалена цегла (вона темніше обпаленої нормальної; глухо звучить при ударі; важка) неміцна і нестійка. Її застосування обмежується кладкою малонавантажених внутрішніх стін. Перепалена цегла міцніше, погано вбирає вологу, щільна і теплопровідна. При ударі дає дзвін високих тонів, а формою часто неправильна. Його призначення - кладка в сирих місцях.

На рисунку 1 представлена технологічна схема виробництва керамічної цегли. Глина з кар'єра завозиться самоскидом в глинозапасник (1). З глинозапасником глина мостовим грейферним краном (2) подається в агрегат завантаження сировини (3). Агрегат завантаження призначений для прийому глинистої сировини, первинного його подрібнення, обліку та дозованої подачі на подальшу переробку. Агрегат завантаження містить раму, на якій змонтований бункер, всередині бункера, в нижній частині, встановлені з можливістю обертання (назустріч один одному - попарно) чотири шнека з розташованими на них по гвинту лопатями. Обертання шнеків здійснюється через роздавальну коробку від приводу, встановленого на рамі.

Агрегат завантаження працює наступним чином: великі грудки глини, що знаходяться в бункері, подрібнюються і рихляться лопатями обертових валів агрегата. Подрібнюючись, глина, за рахунок спірального розташування на валах лопатей, переміщається до розвантажувальної люка, через який надходить на вивідний стрічковий транспортер агрегату завантаження і далі в приймальний бункер шнекового транспортера (4). Системи частотного регулювання приводів дозволяють змінювати продуктивність агрегату і підтримувати подачу глини в обсязі, що забезпечує роботу агрегату підготовки сировини(5).

Подальша переробка глини відбувається в агрегаті підготовки сировини. Агрегат підготовки сировини містить раму, на якій змонтовані завантажувальний короб (тічка) (5.1), барабан (5.2), привід обертання барабана, топка (5.3) і розвантажувальний бункер глинистої сировини (5.4)

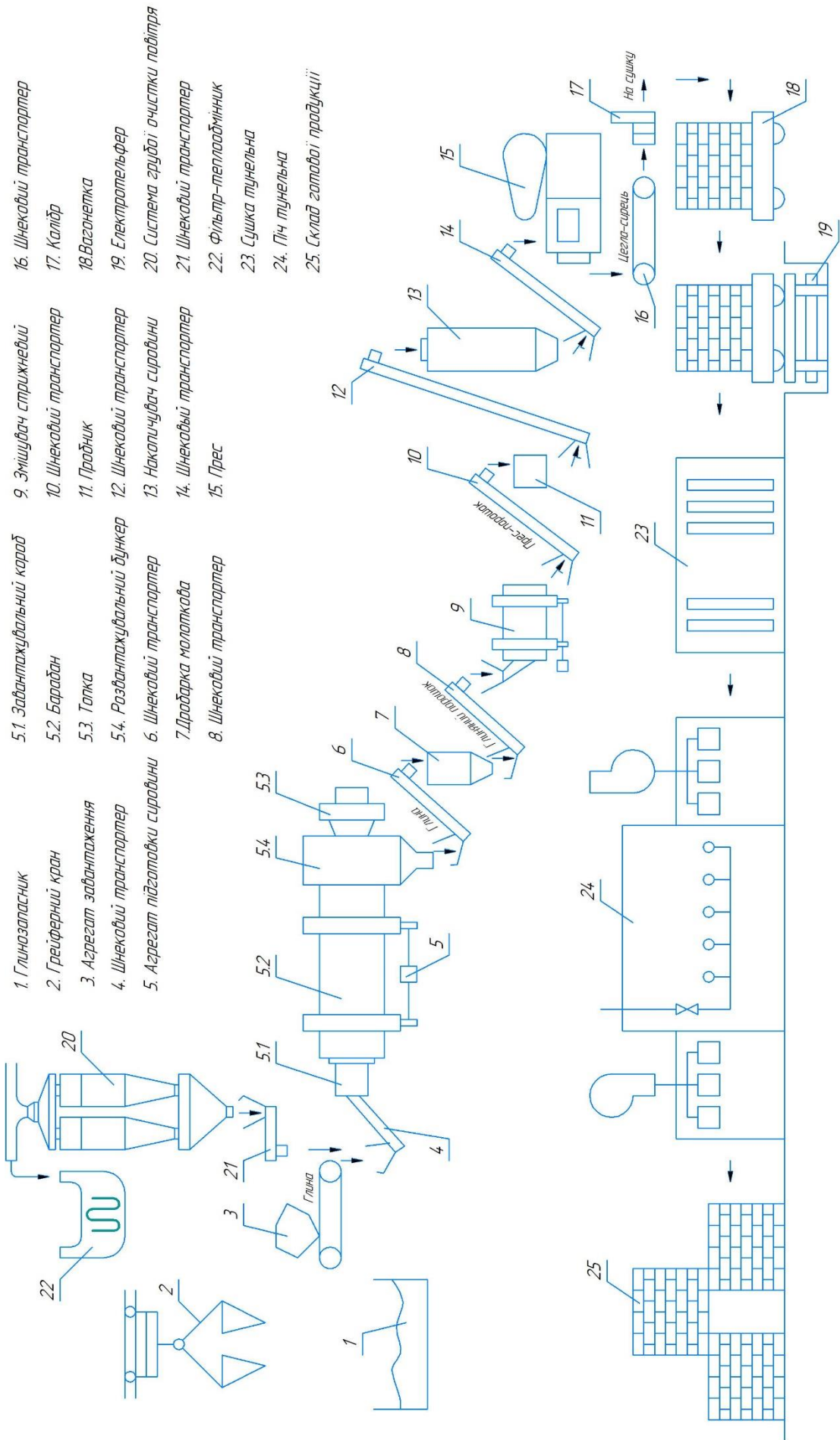
Транспортер шнековий (4) забезпечує примусову і рівномірну подачу глини через короб в барабан. Камера топкова, в якій встановлений газовий пальник (природний газ),

забезпечує тепловою енергією процес сушіння. Барабан локалізує в своєму обсязі термічні процеси сушки глини до технологічно необхідної вологості і здійснює її подрібнення. Він влаштований таким чином: привід обертання барабана (електродвигун, редуктор, приводні вали, ланцюгові передачі, опорно-приводні обгумовані катки) встановлено на рамі. На обгумовані катки приводу з можливістю обертання покладений барабан, причому, рама виконана так, що вісь барабана розташована по відношенню до горизонту з нахилом, рівним  $4^\circ$ .

Осьове переміщення барабана обмежена наполегливими роликами. Корпус барабана виконаний з прямошовної сталеві труби, на «гарячому» торці якої закріплена циліндрична решітка. Корпус по зовнішній поверхні посиленій стрінгерами, розташованими вздовж його утворювачів, між стрінгерами покладена теплоізоляція, яка зовні обшита тонколистовою сталлю. На зовнішній поверхні корпусу барабана змонтовані два опорних кільця, якими барабан спирається на приводні катки, утворюючи фрикціону пару.

На «холодному» кінці внутрішньої поверхні барабана, на певній відстані встановлені ланцюгові завіси, причому, ланцюги в групах, що утворюють завіси, мають різну довжину і форму. Кріплення ланцюгів до поверхні барабана здійснюється або одним кінцем, або гірляндами. Між ланцюговими завісами і колосниковою решіткою на внутрішній поверхні барабана встановлено кілька рядів лопаток (полиць), виконаних у вигляді рамок, заповнених полотном з переплетених між собою кілець (по типу кольчуги). Нижня частина обсягу колосникових грат заповнена молотьовими кулями. Торці барабана сполучаються з завантажувальним коробом і розвантажувальним бункером, причому, з «холодним» торцем барабана пов'язаний завантажувальний короб, решітка з «гарячим» торцем барабана повністю розташована в розвантажувальному бункері. Ополитно барабану, через протилежну стінку розвантажувального бункера, в бункер введено сопло топки. Сполучення короба і бункера з барабаном виконані у вигляді оригінальних ущільнень, конструкція яких дозволяє виключити «підсмоктування» атмосферного повітря в барабан і аварійні викиди пилу з барабана і компенсувати радіальне і торцеве биття, що виникає при обертанні барабана.

Сушка і подрібнення глиняної сировини здійснюється під час його переміщення в барабані. Переміщення глини всередині барабана обумовлено впливом на неї сили, що виникає при обертанні барабана навколо власної осі, розташованої під кутом  $4^\circ$  по відношенню до горизонту. Обертання барабана здійснюється за допомогою фрикційної передачі, утвореної опорно-приводними катками і бандажами, змонтованими на барабані. Сушка глини в барабані здійснюється протитечією при впливі на неї трьох чинників:



- прямого контакту глиняної сировини з потоком гарячих газів, що йдуть від топки через барабан;

Рисунок 1 - Технологічна схема виробництва керамічної цегли

- контакту глиняної сировини, При його русі по барабану, з розігрітій внутрішньою поверхнею барабана;

- контакту глиняної сировини зі змонтованими на внутрішній поверхні барабана ланцюговими завісами, які розігріваються потоком гарячих газів, що проходять через барабан, і забезпечують рівномірний об'ємний прогрів глини. Для виключення дегідратації глини і руйнування її кристалічної решітки з втратою пластичності, температура топкових газів підтримується в межах 400 °С.

Одночасно з сушінням в барабані відбувається процес подрібнення глиняної сировини. Подрібнення глини в барабані відбувається як би в два етапи, в двох зонах: в зоні розміщення ланцюгових завіс і зоні колосникових ґрат. Подрібнення глини на першому етапі відбувається під впливом чотирьох чинників: по-перше, зіткнення грудок глини, по-друге, взаємного стирання грудок при контакті між собою, по-третє, ударів ланцюгів по грудок глини, по-четверте, стирання грудок ланцюгами завіс. Другий етап подрібнення відбувається в зоні розвантаження барабана при впливі на глину, розміщених тут, куль, що мелють.

Подрібнена і підсушена глина, фракція не більше 30мм,прокидається в зазори колосникових обичайки і через розвантажувальний бункер з вантажним клапаном потрапляє на вивідний шнековий транспортер (6). На виході з сушильного барабана встановлена магнітна пастка (на схемі не показана), установка пастки виключає потрапляння сталевих предметів на подальші технологічні переділи.

Топкові гази, які беруть участь в процесі сушіння глини, Насичені парами води і пилоподібними частинками, відводяться від барабана і очищаються системою пиловидалення в два етапи. На першому етапі очищення газів відбувається в батареї циклонів, що утворюють систему грубої очистки повітря (20). Ступінь очищення повітря від пилу на першому етапі досягає 90%. Відходять гази, що пройшли очистку на першому етапі, подаються в фільтр-теплообмінник (22).

Ступінь очищення повітря на другому етапі становить не менше 90%.Очищені гази направляються в систему обігріву глинозапасником і далі в атмосферу, а конденсат з адсорбованою глиняного пилом скидаються по шламопроводів в відстійник. Пилоподібні частки, обложені з топкових газів на першому етапі, з бункера циклонів потрапляють в шнековий транспортер (21), який повертає їх в потік технологічного матеріалу (в барабан).

Виведена з барабана глина надходить на подальшу переробку в дробарку молоткову (7), де глина подрібнюється. Частинки глини після подрібнення в дробарці мають розміри, що задовольняють вимогам технологічного процесу (не більше 3 мм). З дробарки подрібнена глина через шнековий транспортер надходить в змішувач стрижневий (9). Поступила в стрижневий змішувач від дробарки висушена глина перемішується, осереднюється і гранулюється, готовий прес-порошок шнековими транспортерами (10) і

(12) подається в накопичувачі сировини (13), бункери яких оснащені пневматичними ударними гарматами (для руйнування склепіння).

Між транспортерами в потоці прес-порошку, встановлений пробник(11), який періодично механічним способом визначає вологість прес-порошку. При виході вологості прес-порошку за технологічно допустимі межі, система автоматики лінії, впливаючи (керуючи) на відповідні виконавчі елементи, усуває виниклі неузгодженості (повертає вологість в задані технологічними вимогами межі).

Прес-порошок самопливом з бункера накопичувача сировини надходить на шнековий транспортер (14), що подає його в накопичувальний бункер преса (15). В результаті гіперпресування (400кг / см<sup>2</sup>), при оптимальному поєднанні вологості, температури і тиску, в пресі формується (пресується) цегла-сирець. При виході з преса, цегла-сирець транспортером (16) передається в калібр (17), де піддається механічній обробці, набуваючи задані геометричні розміри. Крім механічної обробки весь цегла-сирець, що проходить через калібр, проходить 100% контроль, за результатами якого визначається придатність сирцю для подальшої технологічної обробки, негідний сирець відбраковують і повертається на переробку.

## 1.2 Технологічний аналіз процесу сушіння

Для сушіння цегли-сирцю передбачені камерні сушила з поперечним рухом теплоносія. Сушила мають 13 камер, розділених на 2 частини: в першій частині з 1 по 6 камери, в другій з 7 по 13 камеру. За схемою теплопостачання всі камери розбиті на 3 блоки. Блок сушки обслуговується групою, що складається з теплогенератора ТВС-8, вентилятора циркуляції МВТ-120-470-15Р, витяжного вентилятора ВР 80-75 №12,5 і розподільного повітропроводу, пов'язаного з клапанами для подачі теплоносія в кожную камеру.

Кожна камера обладнана дверима, що піднімається вгору за допомогою електротельфера. Усередині камери встановлено 6 паралельних рейкових шляхів, уздовж яких змонтовані металеві 10-поличні стелажі для укладання на них пари рейок з цеглиною-сирцем. Верхня частина камери перекрита «помилковою» стелею з азбестоцементних листів. В результаті, між склепінням і «помилковою» стелею утворюється порожнина для циркуляції теплоносія. На внутрішній стороні бічних стін встановлені направляючі апарати, призначені для розсіювання потоку теплоносія по всьому перетину камери. У середній стінці встановлений осьовий вентилятор МВТ-120-470-15Р, яким здійснюється циркуляція повітря для гарантованого отримання високої рівномірності висихання цегли по всьому об'єму всередині камери.

У центральній частині кожної половини камери передбачені канали для видалення вологого відпрацьованого повітря в атмосферу.

Гаряче повітря в камеру надходить із зони охолодження печі і від теплогенератора ТВС-8, паливом для яких служить природний газ. Теплогенератор забирає повітря з приміщення цеху через теплообмінник, нагріваючи до 120 ° С, і віддає нагріте повітря в сушильну камеру. Повітря з сушильної камери видаляється витяжним вентилятором ВР 80-75 №12,5.

Після сушіння цегла знімається з сушильних рейок або сушильних піддонів і осаджується на пічний візок. В основному на цегельних заводах, в тому числі найсучасніших, застосовуються печі тунельного типу. Піч для випалу цегли зсередини обкладається шамотною цеглою. Піч для випалу цегли складається з трьох основних зон: зона підготовки, зона випалу, зона охолодження. Основна частина технологічного обладнання цегельного заводу сконцентрована в області зони випалу печі. Для випалу цегли застосовуються пальники, розташовані зверху печі або з боків.

Після випалу цегли в печі, пічні візки подаються на станцію упаковки цегли. Автоматичні гідравлічні захоплювачі німецької фірми Probst дозволяють безперебійно і надійно зняти обпалену цеглу з пічних візків і складають пачки на транспортні піддони. Стиснення пакетів з цеглою здійснюється в автоматичному режимі. Пачка з цеглою на товарному піддоні або без нього подається на стації обмотки. Є запропоновані два види упаковки піддонів з керамічною цеглою: обмотка стретч-плівкою і обв'язка металеві або поліуретанові стрічкою.

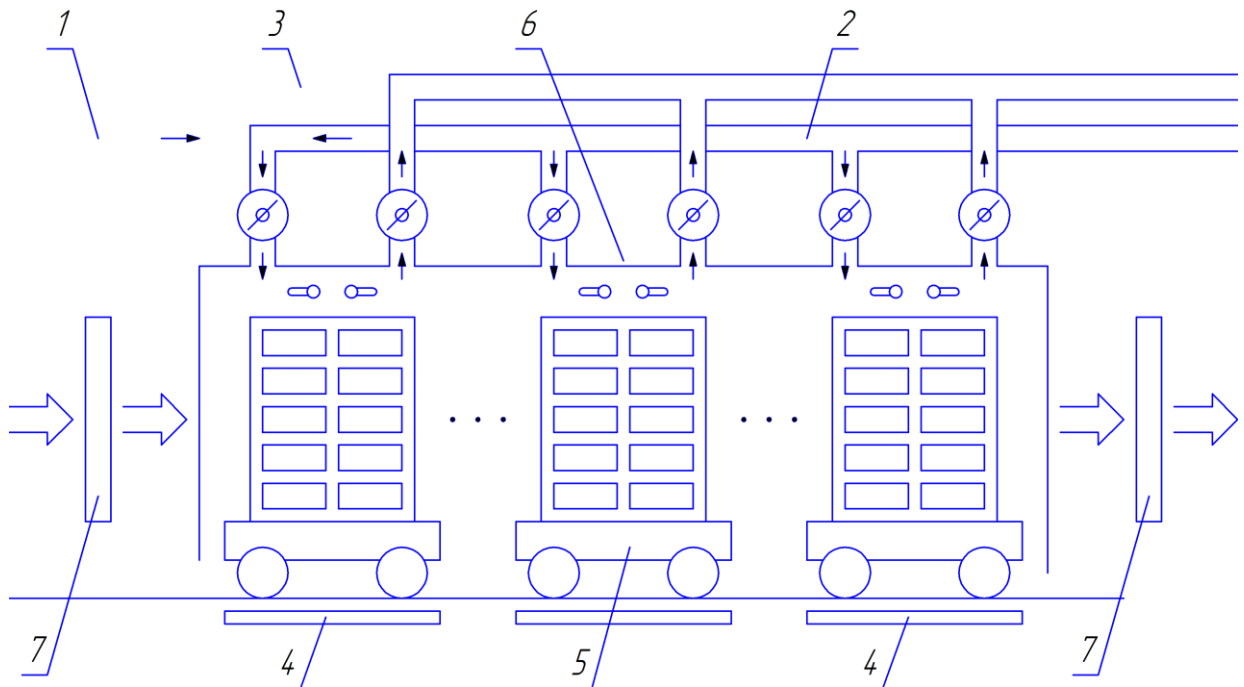


## 2 ІНФОРМАЦІЙНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ. ВИБІР КАНАЛІВ УПРАВЛІННЯ

### 2.1 Інформаційний аналіз об'єкта управління

Для стабільної і якісної роботи виробництва будівельної цегли велике значення мають теплові процеси, такі як сушка і випалення. При реконструкції існуючих і проектуванні нових цегельних заводів важливим завданням є забезпечення високої продуктивності теплових агрегатів, зниження енергетичних витрат при високій якості готової продукції [1].

Одним з найбільш енергоспоживаючих процесів при виробництві керамічних виробів є технологічний процес сушіння. Технологічна схема процесу сушіння приведена на рисунку 2.



1 - повітропровід гарячого повітря; 2 - повітропровід нагрітого повітря; 3 - заслінка регулювання витрати гарячого повітря; 4 - заслінка регулювання витрати нагрітого повітря; 5 - датчик температури повітря; 6 - датчик вологості повітря; 7 - датчик вологості сировини; 8 - датчик ваги; 9 - вагонетки з сировиною.

Рисунок 2 - Технологічна схема процесу сушіння

Заслінки подачі гарячого повітря 3 і нагрітого повітря 4 і оснащені приводами управління. Гаряче повітря подається в сушарку а нагріте повітря віддаляється з сушарки так, що дозволяє коригувати втрату вологи в різних частинах сушарки.

Перед завантаженням сировини в сушилку вимірюється його вологість в установці 7. У процесі сушіння, вагонетки 9 зважуються на початку, в середині і в кінці сушарки за допомогою датчиків ваги 8, вираховується вологовмісту цегли. Температура, вологість і витрата повітря також вимірюється.

В даний час є добре відпрацьовані методики математичного опису процесів тепло- і масообміну, на підставі яких створені досить адекватні математичні моделі об'єктів. Однак самі методи управління процесом сушіння зводяться, в основному, до стабілізації режимних параметрів по окремим контурам [2], що надзвичайно спрощує ведення процесу управління, часто на шкоду його якості.

Характерним недоліком існуючих систем автоматизації є неможливість оперативного корегування параметрів подається в сушарку повітря в процесі сушіння сировини без участі оператора. Це призводить до утворення дефектів (тріщин, розшаровування, каверн).

Усунення зазначеного недоліку дозволить стабілізувати якість продукції, що випускається і підвищити продуктивність роботи технологічного обладнання.

## 2.2 Вибір каналів контролю і управління

Параметрична схема процесу сушіння приведена на рис.3.

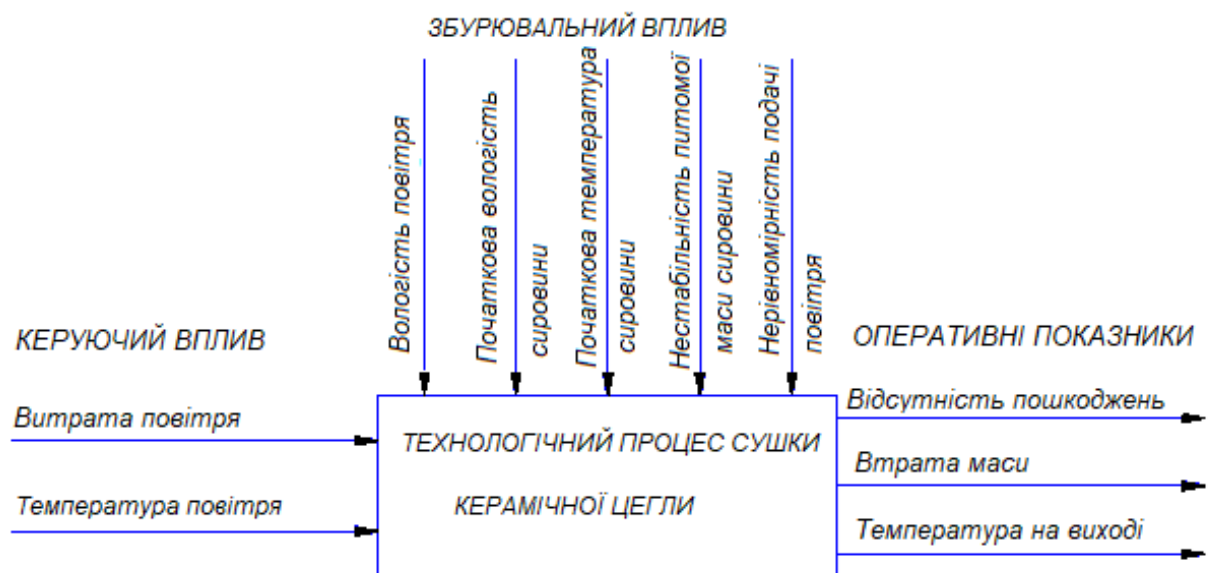


Рисунок 3 - Параметрична схема процесу сушіння

Для управління процесом сушіння пропонується використовувати математичну модель втрати маси сировини за результатами вимірювання зміни маси  $M_k$ .

У режимі постійної продуктивності доцільно керувати процесом сушіння за допомогою зміни параметрів теплоносія. Останні коригуються, але контрольним виміром маси вагонеток з сировиною так, щоб досягати необхідного вологовмісту в кінці технологічного процесу при відсутності дефектів (розтріскування, розшаровування, зниження міцності).

Структура моделі динаміки середньо об'ємного вологовмісту цегли задовільно описується залежністю виду:

$$W(\tau) = A \cdot \exp\left(-\frac{\tau}{T}\right) + C. \quad (1)$$

де  $A$ ,  $T$ ,  $C$  - коефіцієнти ідентифікації, що залежать від умов процесу,  
 $\tau$  - поточний час.

В такому випадку, зміна вмісту води в цеглі-сирцю в процесі сушіння змінюється, як показано на малюнку 4 (крива 1). Час на графіку зазначено в годиннику.

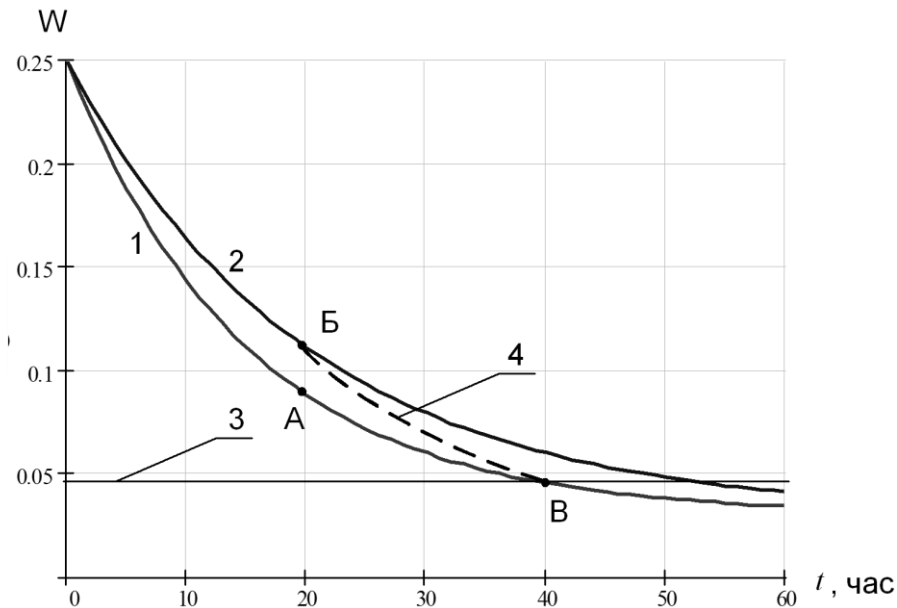


Рисунок 4 - Зміна вмісту води в цеглі в процесі сушіння

Якість процесу управління оцінюється функціоналом:

$$J(\tau) = \Delta W - \frac{(m_H - m_K)}{m_0}. \quad (2)$$

де  $\Delta W$  - бажана зміна вмісту води в процесі сушіння,

$m_H$  - початкова маса сировини,  $m_K$  - кінцева маса сировини,

$m_0$  - маса абсолютно сухої сировини.

Для розрахунку коефіцієнтів ідентифікації при  $\tau = 0$  отримуємо:

$$A + C = W(0). \quad (3)$$

Використовуючи рівняння балансу

$$\int_0^{\tau_{N0}} \left[ A \cdot \exp\left(-\frac{\tau}{T}\right) + C \right] d\tau = \Delta W. \quad (4)$$

отримаємо друге рівність для обчислення коефіцієнтів  $A$  і  $C$ :

$$A \cdot T \cdot \left[ \exp\left(-\frac{\tau_c}{T}\right) \right] + C \cdot \tau_c = \Delta W. \quad (5)$$

де  $t_c$  - тривалість сушіння.

Значення коефіцієнта  $C$  обчислюється в результаті спільного рішення залежностей (3) і (5).

У разі невідповідності між прогнозованим (точка А на рис. 4) і вимірним експериментально (точка Б на рис. 4) вологовмістом в точці повторного зважування (20-й год процесу сушіння), модель коригується.

Інтенсивність процесу сушіння характеризується коефіцієнтом  $T$  моделі (1), який і визначає досягнення бажаного вмісту вологи в кінці процесу сушіння. Коефіцієнт  $T$  пропонується коригувати в процесі сушіння за результатами відхилення прогнозованого і фактичного вмісту вологи в точці контрольного зважування. В основі механізму корекції лежить залежність виду:

$$\Delta T = f(D_{\text{п}}, T_{\text{п}}, \varphi_{\text{п}}). \quad (6)$$

де  $D_{\text{п}}$  - витрата повітря, що надходить в сушарку,  $T_{\text{п}}$  - температура повітря,  $\varphi_{\text{п}}$  - відносна вологість повітря.

Залежність (6) визначається на підставі опитування експертів і є основою бази знань для нечіткого регулятора системи керування.

Таким чином, застосовуючи запропоновану систему автоматичного управління, в процесі сушіння можна реалізувати втрату вологи відповідно до технологічного регламенту, що дозволить знизити відсоток браку, зменшити енерговитрати і підвищити продуктивність сушарки.

В цілому регулювання процесу сушіння зводиться до підтримки в діапазоні заданих значень вологості, температури і витрати повітря, що подається в тунельну сушарку.

За результатами обстеження заводу будівельних матеріалів розроблена система автоматизації сушарки цегельного заводу і прийняті наступні обмеження на параметри повітря, що надходить в сушарку: температура  $T_{\text{п}} \leq 50 \text{ } ^\circ\text{C}$ , відносна вологість  $\varphi_{\text{п}} \leq 70\%$ , витрата  $D_{\text{п}} \leq 50000 \text{ м}^3/\text{год}$ . Також були прийняті обмеження на параметри сировини: початкова температура  $T_0 \leq 20 \text{ } ^\circ\text{C}$ , початковий вологовміст  $W_{\text{н}} \leq 0,25$ , кінцевий вологовміст  $W_{\text{к}} \leq 0,03$ , маса сировини при кінцевому вологовмісті  $M_{\text{к}} \leq 712\text{кг}$ .

### 2.3 Вимоги до системи управління

Основним завданням системи управління є підтримання економічності процесу сушіння, що позитивно позначається на витраті теплоносія, необхідного для забезпечення заданого вологовмісту цегли, а також на екологічності процесу сушіння.

Традиційно, завдання оптимізації управління процесами сушіння будівельних матеріалів вирішують шляхом знаходження керуючих впливів за допомогою багатофакторної моделі, що зв'язує параметри сировинного переділу та управляючі з показниками якості готової продукції, в нашому випадку - міцністю цегли. При цьому,

підвищення точності оптимального управління зводиться до задачі підвищення точності визначення коефіцієнтів моделі, що може бути забезпечено застосуванням адаптивного управління [4].

Аналіз сучасних технологічних процесів сушки і випалу керамічної цегли дозволив виявити цілий ряд факторів [5], дозволяють віднести цю технологію до класу слабо формалізованих процесів:

- параметри, які можуть оцінюватися оператором, як правило, візуально, якісно (нестабільність питомої маси сировини, нерівномірність подачі повітря, футеровка пічних вагонеток, геометрія кошів);
- неможливість оперативного контролю особливостей керамічної цегли в процесі сушіння;
- значна тривалість сушіння та теплова інерційність сушильного агрегату;
- можливі порушення регламенту технологічного процесу, їх здатність приводити до значних матеріальних збитків;
- присутність людини, як ланки в технологічному ланцюгу при проштовхуванні пічних вагонів.

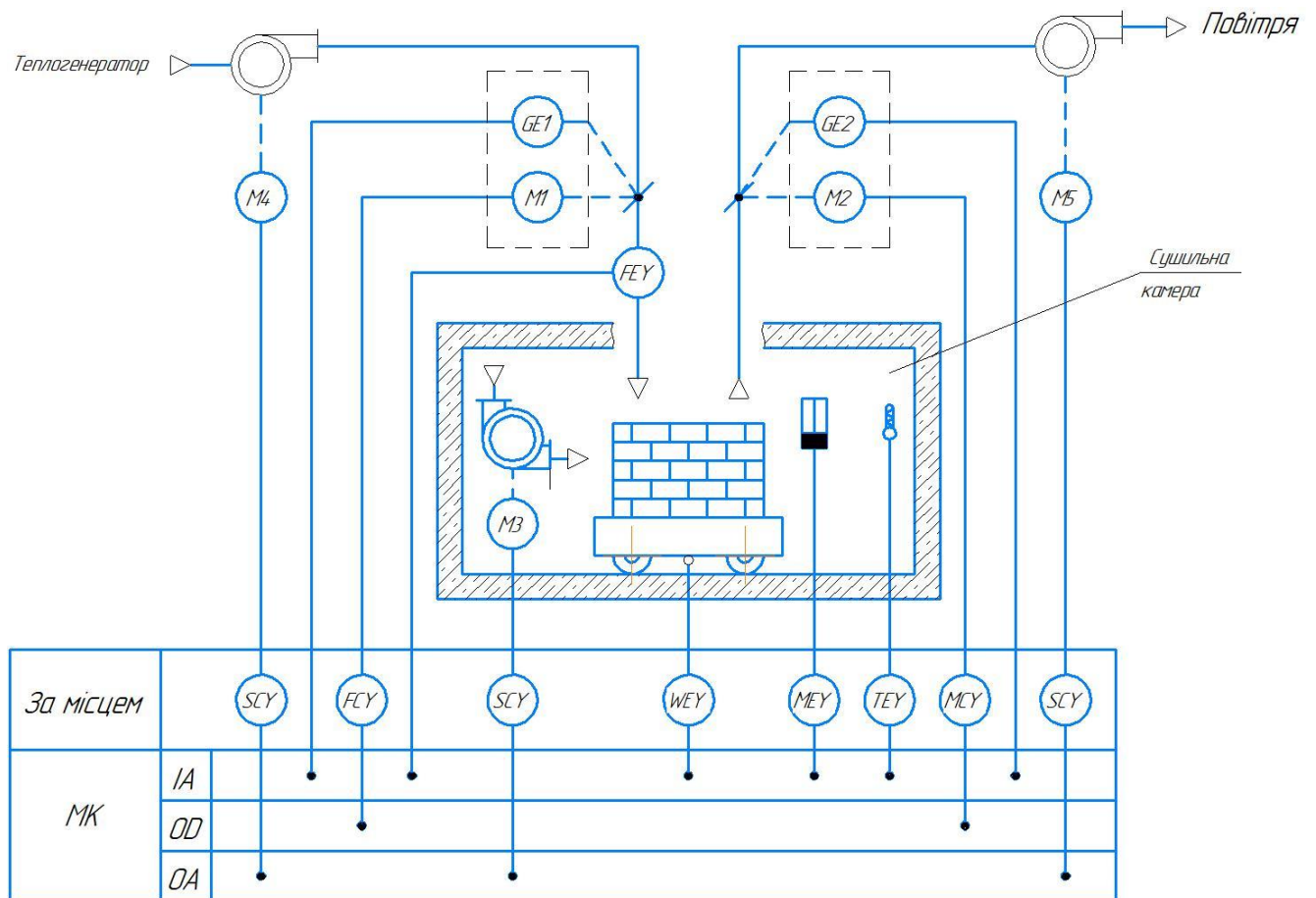
Наявність різних сценаріїв протікання технологічного процесу, обумовлених вище переліченими чинниками, робить проблематичною використання загальної, допустимої за складністю, моделі, яка адекватно описувала б об'єкт управління і була придатна для цифрової системи управління. Безліч зазначених сценаріїв управління, необхідність застосування евристичних способів розпізнавання ситуацій в вигляді деякого набору правил, експертних знань обумовлює застосування м'яких обчислювальних процедур [6] до яких відноситься і апарат нечіткої логіки.

## 2.4 Локальні контури управління за обраними параметрами

2.4.1 Локальний контур вимірювання параметрів повітря, що подається в сушильну камеру і управління заслінками подачі гарячого і нагрітого повітря в камери №1, №2, №3

Відповідно до параметрами формалізації процесу сушіння, представленими на малюнку 3, керування процесом сушіння будується як завдання стабілізації вологості, температури і витрати повітря. Грубе завдання параметрів сушіння здійснюється шляхом керування швидкістю обертання падаючого і відсмоктуючого вентиляторів, а точне регулювання параметрів сушіння досягається завдяки зміні положення заслінок, змонтованих в повітроводах. Крім того, оптимізація процесу сушіння реалізується за результатами вимірювання втрати ваги сирової цегли в часі за допомогою управління швидкістю обертання вентилятора циркуляції повітря в кожному блоці сушки.

Контур стабілізації цих параметрів для однієї з блоків сушильних камер має вигляд, представлений на рис.5.

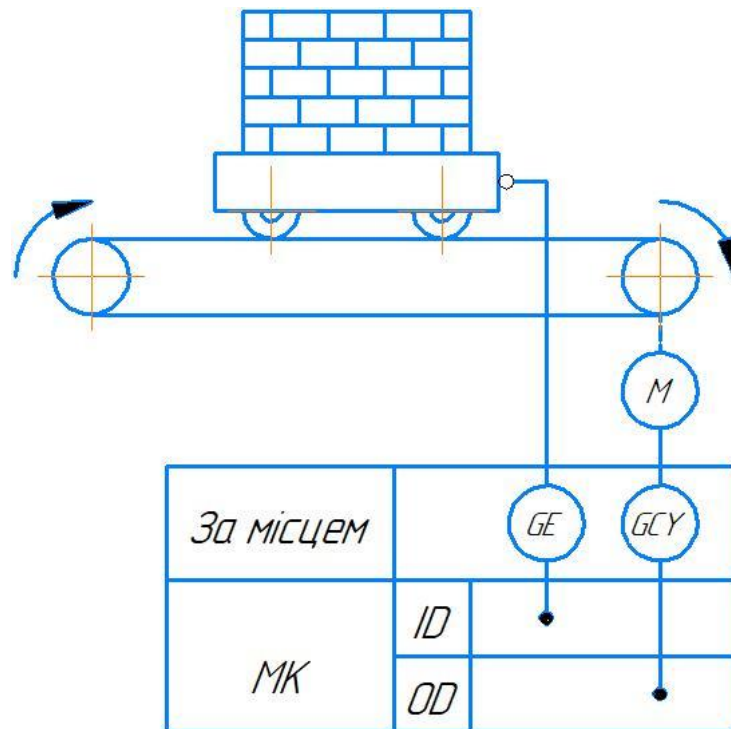


FEY - датчик витрати повітря, MEY - датчик вологості повітря, TEY - датчик температури повітря, GE1 (GE2) - датчик положення заслінки гарячого (нагрітого) повітря, FCY, MCY - пристрій плавного пуску, SCY - частотний перетворювач, M1 (M2) - електродвигун приводу заслінки гарячого (нагрітого) повітря, M3 - електродвигун циркуляційного вентилятора, M4 - електродвигун вентилятора теплогенератора, M5 - електродвигун витяжного вентилятора, МК - мікроконтролер, IA- вхід мікроконтролера аналоговий, OD - вихід мікроконтролера цифровий, OA- вихід мікроконтролера аналоговий

Рисунок 5 - Контур стабілізації вологості, температури і витрати повітря

#### 2.4.2 Локальний контур управління двигуном електролафета

При переміщенні вагонетки в каналі сушки на позицію зупинки спрацьовує фотодатчик, що працює за принципом прийому відбитого променя. В цьому випадку мікроконтролер повинен подати команду на пристрій плавного пуску і зупинити двигун електролафета.

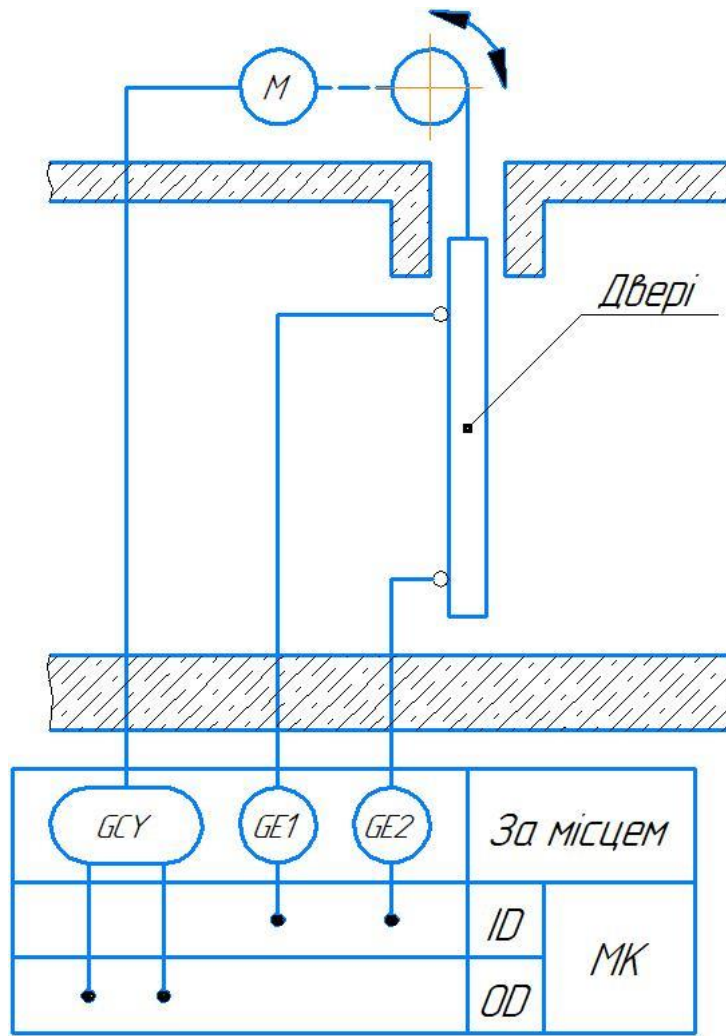


GE - фотодатчик положення візка, GCU - пристрій плавного пуску, M-двигун електролафета, МК - мікроконтролер, ID- вхід мікроконтролера цифровий, OD - вихід мікроконтролера цифровий

Рисунок 6 - Контур управління двигуном електролафета

#### 2.4.3 Локальний контур управління двигуном електротельфера

Блоки сушильних камер розділені дверима. Відкриття і закриття дверей проводиться за допомогою електротельфера. Стан двері (відкрита, закрита) визначається за допомогою індукційних датчиків кінцевого положення GE1, GE2. Привід електротельфера управляється реверсивним пристроєм плавного пуску NSY.



GE1, GE2 - індукційні датчики положення дверей, GCY - пристрій плавного пуску реверсивний, М-двигун електротельфера, МК - мікроконтролер, ID- вхід мікроконтролера цифровий, OD - вихід мікроконтролера цифровий

Рисунок 7 - Контур управління двигуном електротельфера

На підставі локальних контурів побудована функціональна схема автоматизації процесу сушіння цегли-сирцю.



## 3 ВИБІР СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ. РОЗРОБКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

### 3.1 Вибір сучасних засобів автоматизації

#### 3.1.1 Вибір засобів вимірювання вологості.

Перед завантаженням цегли-сирцю в камеру сушки і після вивантаження з неї в систему управління необхідно ввести значення його початкової вологості. На ринку пропонується кілька варіантів необхідних засобів вимірювання. Розглянемо наявні пропозиції.

##### *Вологомір будівельних матеріалів ВИМС-2.2*

Призначені для оперативного контролю вологості широкого спектру матеріалів в будівництві (ДСТУ 21718, ДСТУ 16588) в тому числі у виробках, конструкціях і спорудах. Контрольовані матеріали:

тверді: дерева, бетон, цегла, штукатурка, стяжка;

сипучі: пісок, щебінь, відсів, граншлак, зола, пемза ...

Сфера застосування вимірювачів вологості: будівельні лабораторії, обстеження будівель і споруд. У приладі реалізований діелькометричний (ємнісний) метод вимірювання вологості. Є блок зв'язку з ПК.



Рисунок 8 - Вологомір будівельних матеріалів ВИМС-2.2

##### *Вологомір будівельних матеріалів ВСМ*

Призначення: Неруйнівний контроль вмісту вологи будівельних матеріалів безпосередньо в конструкціях і спорудах, або процесі будівельних та ремонтних робіт; сипучих (пісок, ґрунт та ін.), твердих (бетон, стяжка, цегла та ін.) і волокнистих (дерева, пиломатеріали, деревостружкові, деревоволокнисті і ін.) матеріалів в лабораторних, виробничих і польових умовах; діагностика вологісного режиму будівель і споруд в процесі реконструкції та ремонту.

Принцип дії: дієлькометричний.

Загальний опис: прибор відповідає звичайному виконання виробів 3-го порядку по ДСТУ-12997, відноситься до стандартизованим засобам вимірювань і є робочим засобом вимірювань по ДСТУ-21718.



Рисунок 9 - Вологомір будівельних матеріалів ВСМ

Порівняємо технічні характеристики вологомірів, представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 - Порівняльні технічні характеристики вологомірів

Параметр	ВИМС-2.2	ВСМ
Діапазон вимірювання вологості будівельних матеріалів,%	0,5 - 45	0 - 15
Основна абсолютна похибка - не більше,%	$\pm 1,5$	$\pm 1$
Енергоживлення	акумулятор	акумулятор
Інтерфейс зв'язку з ПК	RS-485	немає
Маса, кг	0,14	0,9

З огляду на більш широкий діапазон вимірювань і наявність зв'язку з ПК вибираємо вологомір ВИМС-2.2.

Під час сушіння цегли-сирцю необхідно вимірювати вологість поступаючого в камеру повітря. Розглянемо наявні пропозиції.

#### *Перетворювач вологості повітря Н4111*

Перетворювач вологості Н4111 складається з здвоєного датчика, - тонкоплівкового емнісного датчика вологості Ultra-НІІ з діапазоном вимірювань 0-100% і тонкоплівкового платиного резистивного датчика температури, Ultra 7, - і лінійного перетворювача 4-20 мА з двопровідним інтерфейсом. Платиновий терморезистор забезпечує температурну

компенсацію в повному діапазоні вимірювань, в той час як тонкоплівковий ємнісний датчик вологості гарантує високоточні вимірювання.

Надійна антикорозійний захист корпусу вимірювача захищає пристрій від впливів навколишнього середовища і хімічних агресивних середовищ. Таким чином, широко застосовувані розчинники, пил, масло та інші забруднювачі не впливають на стабільність і точність вимірювань. Роз'єм підключення вимірювача ізолюваний для захисту від зовнішнього забруднення. Зовнішній вигляд перетворювача представлений на рисунку 10.



Рисунок 10 - Перетворювач вологості повітря Н4111

#### *Датчик вимірювання вологості і температури 431416*

Призначений для електронної передачі даних про відносну вологість і температуру повітря. Оснащений датчиком ємності для вимірювання відносної вологості повітря і платиновим резистором РТ 100 1/3 DIN для вимірювання температури повітря з високою точністю. Може застосовуватися в метеорології, а також для спостереження за кліматом в приміщеннях.



Рисунок 11 - Датчик вимірювання вологості і температури 431416

Порівняємо технічні характеристики вологомірів, представлені в таблиці .

Таблиця 2 - Порівняльні технічні характеристики вологомірів

Параметр	431416	H411
Діапазон вимірювання вологості повітря,%	0 - 100	0 - 100
Основна абсолютна похибка - не більше,%	± 2	± 3,5
Вихідний сигнал, мА	4- 20	4- 20
Робоча температура, ° С	-40 ... + 80	-40 ... + 80
Напруга живлення, В	13 - 28	12 - 45
Маса, кг	0,3	1,5

З огляду на універсальність, більш високої точності, меншою масою і розширеної функціональності вибираємо вимірювач вологості повітря 431416.

### 3.1.2 Вибір засобів вимірювання температури

Так як датчик вимірювання вологості 431416 містить в своєму складі ще й датчик температури, використовуємо його і для вимірювання температури навколишнього повітря. Технічні дані датчика температури 431416 наведені в таблиці 3.

Таблиця 3 -Технічні характеристики датчик температури 431416

Параметр	Значення
Діапазон вимірювання температури, ° С	-30 ... + 70
Основна абсолютна похибка - не більше,%	± 1
Ступінь захисту від води і пилу по ДСТУ тисяча чотириста двадцять п'ять	IP65
Вихідний сигнал, мА	4- 20
Напруга живлення, В	24
Струм споживання - не більше, мА	200
Маса, кг	0,3

### 3.1.3 Вибір засобів вимірювання витрати повітря

#### *Регулятор потоку для вимірювання витрати повітря D-FL100*

Вимірювач витрати повітря D-FL 100 працює за принципом вимірювання перепаду тиску. Зонд - осереднена трубка - має дві окремих камери, між якими потік створює перепад тиску. Таким чином визначається величина швидкості потоку. Беручи до уваги інші параметри потоку, наприклад абсолютний тиск і температуру, об'ємна витрата середовища може бути перетворена з дійсних до стандартних умов за допомогою мікропроцесорного обчислювального блоку витратоміра D-FL 100-10.

Застосування вимірювача витрати повітря:

- вимірювання об'ємної витрати повітря або димових газів при високих температурах потоку;
- установки з великими або маленькими перетинами газоходів;
- вимір об'ємної витрати при високому тиску.



Рисунок 12 - Регулятор потоку D-FL100 з осередненої трубкою

*Промисловий датчик для вимірювання швидкості повітря/газу EE75*

У Термоанемометр серії EE75 використовуються високоякісні тонкоплівкові сенсори виробництва E + E, що працюють на інноваційному принципі гарячого плівкового анемометра. Це гарантує максимальну чутливість і чудову якість вимірювань навіть при найнижчих потоках. Вбудований температурний компенсатор знижує залежність датчиків серії EE75 від перепадів температури і спільно з високоміцним корпусом дозволяє використовувати дані прилади при температурах від -40 до 120 °C



Рисунок 13 - Термоанемометр серії EE75

Таблиця 4 - Порівняльні технічні характеристики вимірників витрати повітря

Параметр	EE75	D-FL100
Діапазон вимірювання витрати, м <sup>3</sup> / год	0 - 3 · 10 <sup>6</sup>	0 - 3 · 10 <sup>6</sup>
Діапазон вимірювання швидкості, м / с	0 - 40	3 - 40
Межа виявлення, м / с	<0,1	<3
Основна абсолютна похибка - не більше, %	± 1	± 2
Температура повітря, газу - не більше, ° С	120	400
Діаметр газоходу, м	від 0,1	0,4 - 0,8
Вихідний сигнал, мА	4- 20	4- 20
Напруга живлення, В	24	24

З огляду на більш високій точності і розширеному межі вимірювань вибираємо термоанемометр серії EE75.

### 3.1.4 Вибір засобів вимірювання ваги

*Малогабаритний тензодатчик СМ.* Призначений для аналізу сил стиснення. Переваги тензодатчиків СМ: компактні розміри і мала вага; невисока вартість; конструкція з нержавіючої сталі.



Рисунок 14 - Малогабаритний тензодатчик СМ

#### *Датчик ваги С2-Е*

Основні характеристики:

- виготовлений з нержавіючих матеріалів;
- мала деформація;
- допускає велике динамічне навантаження;
- 6-ти провідна схема підключення;
- низькій профіль;
- відповідає вимогам по електромагнітної захисту згідно EN 45501;
- опція: вибухобезпечне виконання.



Рисунок 15 - Датчик ваги С2-Е

Таблиця 5 - Порівняльні технічні характеристики вимірників ваги

Параметр	СМ	С2-Е
Діапазон вимірювання зусилля, т / с	0 - 2	0 - 2
Коефіцієнт передачі, мВ / В	1	2
Гістерезис,%	± 0,20	± 0,15
Основна абсолютна похибка - не більше,%	± 2	± 2
Робоча температура - не більше, ° С	-20 ... + 80	-30 ... + 120
Вхідний опір, Ом	750 ± 50%	340 ... 450
Вихідний опір, Ом	702 ± 2%	356 ± 0,2%
Напруга живлення, В	10	5

З огляду на більш високій точності і розширеному межі робочих температур вибираємо датчик ваги С2-Е.

*Перетворювач сигналів тензорезисторних датчиків 4507 ПА* призначений для перетворення сигналів мостових тензорезисторних датчиків в напругу постійного струму або постійний струм. Перетворювач використовується в системах виміру ваги, вимірювання сили, автоматичного вагового дозування і вимірювання витрати потоків сипучих матеріалів. Перетворювач містить: джерело живлення датчиків; підсилювач сигналів датчиків; цифровий фільтр сигналів датчиків; схему формування вихідних сигналів. Перетворювач працює з одним мостовим тензорезисторний датчиком або групою датчиків (до 8), електрично паралельно з'єднаних між собою. Джерело живлення датчиків забезпечує максимальний струм до 150 мА. Довжина з'єднувального кабелю від датчика до перетворювача повинна бути не більше 250 м. Живлення перетворювача здійснюється від мережі змінного струму 220 В (+ 10 / -15)%, частотою (50 ± 1) Гц.

Параметри виходів перетворювача

- по току при максимальному опорі навантаження 400 Ом;
- аналоговий вихід 1 - від 0 до 5 мА;
- аналоговий вихід 2 - від 0 до 20 мА;

- аналоговий вихід 3 - від 4 до 20 мА;

По напрузі постійного струму від 0 до 10В при максимальному опорі навантаження 2 кОм. Перетворювач забезпечує висновок інформації та результату вимірювання у зовнішній ланцюга в стандарті RS232; RS-485.

Габаритні розміри - 155 x 155 x 81 мм.

маса - 1,5 кг.

Споживана потужність - 10 ВА.



Рисунок 16 - Перетворювач сигналів тензорезисторних датчиків 4507 ПА

### 3.1.5 Вибір датчиків положення візка

*Датчик фотоелектричний С-113 PHOTOSWITCH Серія 5000 "Синя" лінія*

Датчик "синьої" лінії серії 5000 з швидким з'єднанням є низьковольтних фотоелектричним датчиком з включенням / виключенням постійного струму. Є п'ять режимів виявлення, що включають зворотне відображення, поляризоване зворотне відображення і стандартну дифузію. Два виходу, один NPN і один PNP, максимізують логіку постійного струму і можливості взаємодії з навантаженням. Блоки живлення як з клемми, так і з кабелем, забезпечують гнучкість при монтажі і підключенні проводів. особливості:

- регулювання чутливості;
- перемикач на вибір світлової або темної роботи.



Рисунок 17 - Датчик фотоелектричний С-113 PHOTOSWITCH Серія 5000 "Синя" лінія



### Фотоелектричний датчик OMRON E3G

Широкий спектр застосувань. Нечутливий до шумів, виробленим частотним перетворювачем. Компактний, легко встановлюється і підключається. Сімейство фотоелектричних датчиків E3G включає в себе датчики на перетин променя, на відображення від об'єкта і відображення від рефлектора, забезпечені функціями придушення впливу ближнього і далекого фону. Датчики не вимагають застосування спеціальних засобів захисту від електричних перешкод, створюваних такими пристроями як перетворювачі частоти, мобільні телефони. Ступінь захисту IP 67. Незважаючи на малий розмір, датчики цієї серії перевершують за своїми характеристиками аналогічні датчики, і, завдяки збільшеній потужності, можуть легко замінити датчики більшого розміру.



Рисунок 18 - Фотоелектричний датчик OMRON E3G

Таблиця 6 - Порівняльні технічні характеристики датчиків положення

Параметр	3-113	E3G
Дистанція спрацювання, м	0,5 - 10	0,5 - 10
Кут зору, °	2,5	1 ... 5
Гістерезис, %	10	10
Час спрацювання, мс	1	1,2
керуючий вихід	PNP / NPN	PNP / NPN
Струм навантаження, мА	не більше 100	не більше 100
Струм споживання, мА	не більше 35	не більше 50
Напруга живлення, В	10 ... 30	10 ... 30
Робоча температура - не більше, ° С	-40 ... + 65	-25 ... + 55

З огляду на більш високій точності і розширеному межі робочих температур вибираємо фотодатчик С-113.

### 3.1.6 Вибір датчиків положення двері

*Індуктивні безконтактні вимикачі* мають чутливий елемент у вигляді котушки індуктивності з відкритим в бік активної поверхні магнітопроводом. Перед активною поверхнею вимикача утворюється електромагнітне поле. При внесенні металевого об'єкта в це поле коливання генератора загасають, демодульована напруга падає, тригер перекидається, комутаційний елемент перемикається. Зазвичай на практиці об'єкт впливу для безконтактного вимикача виготовляється у вигляді сталеві пластини необхідних розмірів, з'єднаної з рухомою деталлю механізму, положення якої потрібно контролювати.

Індуктивні безконтактні вимикачі найбільш ефективно використовувати в якості кінцевих вимикачів в автоматичних лініях, верстатах і т.п., так як вони спрацьовують тільки на метали і не чутливі до рештою матеріалів. Це збільшує їх захищеність від перешкод; наприклад, введення в зону чутливості вимикача рук оператора, емульсії, води, мастила і т.д. не призведе до помилкового спрацьовування.

Об'єктом впливу для індуктивних безконтактних вимикачів є металеві деталі: зуби шестерень, кулачки, повзуни; часто це металева пластина, прикріплена до відповідної деталі обладнання.



Рисунок 19 - Індуктивний вимикач ВБ2.12М



Рисунок 20 - Індуктивний вимикач PRL18-5DN

Таблиця 7 - Порівняльні технічні характеристики індуктивних вимикачів

Параметр	ВБ2.12М	PRLL18-5DN
Дистанція спрацювання, мм	0 - 3,2	0 - 10,5
Гістерезис,%	15	10
Час спрацювання, мс	1,5	5
керуючий вихід	PNP / NPN	PNP / NPN
Струм навантаження, мА	не більше 300	не більше 200
Струм споживання, мА	не більше 8	не більше 10
Напруга живлення, В	10 ... 30	10 ... 30
Робоча температура - не більше, ° С	-40 ... + 105	-25 ... + 70

З огляду на більш високій здатності навантаження і розширеному межі робочих температур вибираємо індуктивний вимикач ВБ2.12М.

### 3.1.7 Вибір регулюючих органів

*Заслінка повітряна прямокутна АЗД190 з електроприводом МЕОФ-40 / 25-0,25К* призначені для регулювання кількості повітря і невибухонебезпечних газопароповітряних сумішей, агресивність яких по відношенню до вуглецевої сталі звичайної якості не вище агресивності повітря з температурою до 120 ° С, що не містять липких речовин і волокнистих матеріалів, з вмістом пилу та інших твердих домішок у кількості не більше 100 мг / м<sup>3</sup> в вентиляційних системах з тиском до 1500 Па (150 кгс / м<sup>2</sup>) і швидкістю переміщення середовища до 20 м / с.

Розміри перетинів заслінок відповідають розмірам поперечних перерізів повітропроводів по положенню 21 БНіП 2.04.05-91. Приєднувальні розміри по фланців заслінок відповідають розмірам по ДСТУ 26270-84 "Фланці вентиляційні".

Заслінка є корпус з тонколистової сталі, з двома фланцями для приєднання до повітропроводів. У середині корпусу на осях встановлені від однієї до трьох лопаток, на які за допомогою системи тяг і важелів, передається рух від приводу, укріпленого на корпусі заслінки. Лопатки заслінки легко повертаються на осі на кут до 90 градусів відносно площини клапана. Для заслінок АЗД 190.000-00 ... 05 в якості електроприводу застосовуються механізми виконавчі електричні однооборотні типу МЕОФ-40 / 25-0,25К.

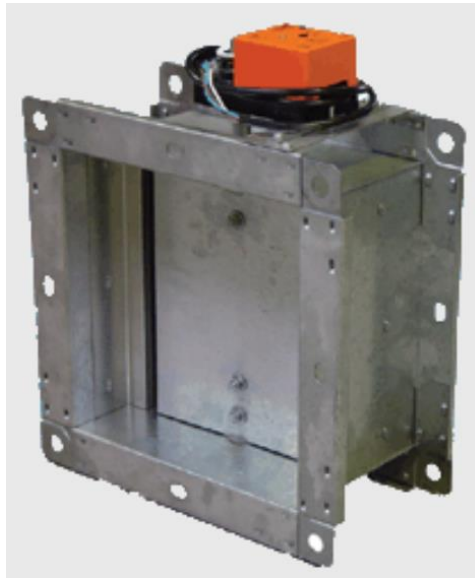


Рисунок 21 - Заслінка повітряна прямокутна АЗД 190 з електроприводом  
МЕОФ-40 / 25-0,25К

### 3.1.8 Вибір виконавчого механізму

Виконавчим механізмом (ВМ) в системі автоматичного регулювання називається пристрій, що переміщує регулюючий орган відповідно до сигналів, які надходять від підсилювача. Виконавчі механізми створюють поступальний або обертальний рух, призначене для переміщення регулюючого органу. До них ставляться такі конструктивні і експлуатаційні вимоги:

- простота конструкції;
- мінімальні розміри і маса;
- висока надійність і стійкість до впливу зовнішнього середовища;
- Безпечна експлуатація і стійкість в роботі;
- наявність захисту для запобігання регулюючого органу від перевантажень і поломок і можливості ручного управління при відмові схеми управління або порушення енергопостачання;
- наявність дистанційного контролю положення регулюючого органу.

Виконавчі механізми поділяють в залежності від виду споживаної енергії на електричні, пневматичні, гідравлічні, вантажні і пружинні.

В даній схемі використовується механізм виконавчий електричний однооборотний постійної швидкості МЕОФ-40 / 25-0,25К. Він має такі особливості:

- автоматичне, дистанційне або ручне відкриття / закриття трубопровідної арматури;
- автоматичний і дистанційний зупинник робочого органу арматури в будь-якому проміжному положенні;

-позиціонування робочого органу трубопровідної арматури в будь-якому проміжному положенні;

-формування інформаційного сигналу про кінцевих і проміжних положеннях робочого органу арматури і динаміці його переміщення;

Таблиця 8 - Параметри електровиконавчого механізму МЕОФ-40 / 25-0,25К

Параметр	Значення
Номінальний крутний момент, Н · м	40
Час повного ходу вихідного валу, з	25
Номінальний хід вихідного валу, °	90
Напруга живлення, В	3фази, 220В
Споживана потужність, Вт	110
Блок сигналізації положення вихідного валу	БСПТ
Уніфікований вихідний сигнал, мА	4- 20
Нелінійність датчика блоку сигналізації положення,%	± 2,5

Для управління механізмом МЕВ спеціально розроблений пускач безконтактний реверсивний ПБР-3А, який забезпечує пуск, реверс і захист трифазного асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором від перевантаження.

Таблиця 9 - Параметри пускача безконтактного реверсивного ПБР-3А

Параметр	Значення
Вхідний сигнал	Імпульси синусоїдальної напруги 24 ... 26В
Вхідний опір, Ом	750
Максимальна напруга, що комутується, В	220/380
Максимальний комутований струм, А	3
Швидкодія, мс	25
Напруга джерела живлення ланцюгів управління, В	22 ... 26
Споживана потужність, Вт	7



Рисунок 22 - Пускач безконтактний реверсивний ПБР-3А

### 3.1.9 Вибір пристроїв плавного пуску

Пристрій плавного пуску (ППП) - електротехнічний пристрій, що використовується в асинхронних електродвигунах, яке дозволяє під час запуску утримувати параметри двигуна (струму, напруги і т.д.) в безпечних межах. Його застосування зменшує пускові струми, знижує ймовірність перегріву двигуна, усуває ривки в механічних приводах, що, в кінцевому підсумку, підвищує термін служби електродвигуна.

Призначення: управління процесом запуску, роботи і зупинки електродвигунів. Основними проблемами асинхронних електродвигунів є:

- неможливість узгодження крутного моменту двигуна з моментом навантаження,
- високий пусковий струм.

Під час пуску крутний момент за частки секунди часто досягає 150- 200%, що може привести до виходу з ладу кінематичного ланцюга приводу. При цьому стартовий струм може бути в 6 - 8 разів більше номінального, породжуючи проблеми зі стабільністю живлення. Пристрої плавного пуску дозволяють уникнути цих проблем, роблячи розгін і гальмування двигуна більш повільними. Це дозволяє знизити пускові струми і уникнути ривків в механічній частині приводу або гідравлічних ударів в трубах і засувках в момент пуску і зупинки двигунів.

#### Принцип дії

Основною проблемою асинхронних електродвигунів є те, що момент сили, що розвивається електродвигуном, пропорційний квадрату прикладеної до нього напруги, що створює різкі ривки ротора при пуску і зупинці двигуна, які, в свою чергу, викликають великий індукційний струм.

Пристрої плавного пуску дозволяють поступово підвищувати струм або напруга від початкового зниженого рівня (опорного напруги) до максимального, щоб плавно запустити і розігнати електродвигун до його номінальних оборотів. Такі ППП зазвичай використовують амплітудні методи управління і тому справляються з запуском обладнання в холостому або слабо навантаженому режимі. Більш сучасне покоління ППП (наприклад, пристрої ЕнерджіСейвер) використовують фазові методи управління і тому здатні запускати електроприводи, що характеризуються важкими пусковими режимами

"номинал в номинал". Такі ППП дозволяють виробляти запуски частіше і мають вбудований режим енергозбереження і корекції коефіцієнта потужності.

Для вибору ППП необхідно знати тип електродвигуна, яким належить керувати. У сушильній камері використовується наступне обладнання з електродвигунами, якими необхідно управляти за допомогою ППП:

- електротельфер (електродвигун АГД100L8 - 1,5 кВт) - 4 шт;
- електролафети (електродвигун 4АМ250S7УЗ - 25кВт) - 1шт.

На ринку присутні багато фірм виробників пристроїв плавного пуску, кожна з яких має в своєму складі велику номенклатуру і специфічні особливості пропонуваніх пристроїв. Розглянемо деякі з них:

*Реверсивні пристрої плавного пуску, Динамічного гальмування і захисту серії «БиСТАРТ-Р»*

призначені для ненаголошеного або плавного пуску двигуна, динамічного гальмування і реверсу трифазних асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором, а також для комплексної інтелектуальної захисту двигуна і механізму. Пристрої плавного пуску "БиСТАРТ-Р" є багатофункціональними реверсивні тиристорні пускачі і можуть замінювати традиційні реверсивні збірки з магнітних пускачів і додаткових пристроїв захисту і динамічного гальмування двигуна.

Переваги використання реверсивних пристроїв плавного пуску, динамічного гальмування і захисту серії "БиСТАРТ-Р":

- компактні розміри;
- широкий діапазон потужностей від 0.1 до 30 кВт;
- висока надійність і довговічність завдяки безконтактної тиристорної комутації двигуна у всіх фазах;
- інтелектуальний захист двигуна і устаткування від позаштатних режимів роботи і діагностика несправностей;
- збільшення терміну служби двигуна і приводного механізму завдяки функціям ненаголошеного і плавного пуску;
- високоефективне гальмування постійним струмом без ударних навантажень на привід.

Завдяки використанню новітньої елементної бази, мікропроцесорного управління і запатентованої схеми управління силовими ключами пристрою плавного пуску і динамічного гальмування «БиСТАРТ-Р» є компактними і недорогими пристроями.



Рисунок 23 - Реверсивні пристрої плавного пуску серії «БиСТАРТ-Р»

*Пристрій плавного пуску RVS-DN 8 - 2700A*

RVS-DN являє собою складне і високонадійне пристрій плавного пуску, розроблене для використання зі стандартними трифазними асинхронними двигунами з короткозамкненим ротором. Він забезпечує оптимальний спосіб зниження струму і моменту під час пуску двигуна.

RVS-DN запускає двигун шляхом подачі на нього повільно наростаючої напруги, забезпечуючи м'який пуск і плавний розгін за допомогою мінімального струму, необхідного для запуску двигуна.

Друге покоління цифровий мікропроцесорної техніки надає унікальні можливості по управлінню насосом, використанню малої швидкості, електронного реверсу і надійному захисті двигуна. Додатково може бути поставлена опція входу для підключення термістора і інші опції, а також змінена ступінь захисту приладу.



Рисунок 24 - Реверсивні пристрої плавного пуску RVS-DN

Проведемо порівняльний аналіз пристроїв плавного пуску стосовно до двигуна електродвигуна.



Таблиця 10 - Порівняльні технічні характеристики пристроїв плавного пуску

Параметр	БСТ-6P	RVS-DN
Номинальна напруга мережі частоти 50Гц, В	3x380	220 ... 440
Комутований струм двигуна при тривалому включенні, А	6,5	8
Потужність підключається двигуна, кВт	0,4 ... 2,2	4
Діапазон настройки номінального струму, А	1,0 ... 6,5	4 ... 8
Максимальний пусковий струм двигуна протягом 3с, А	60	30
Допустимий струм короткого замикання в теч. 10мс, А	500	450
Швидкодія, мс	50	40
Час розгону, з	0,2 ... 10	1 ... 30
Час гальмування, з	0,2 ... 10	1 ... 30
Напруга живлення ланцюгів управління, В	24 ± 4	110 ... 230
Температура навколишнього середовища, ° С	-10 ... + 60	-25 ... + 50

З огляду на більш високій перевантажувальної здатності і уніфікованого напрузі живлення ланцюгів управління вибираємо для електротельфера пристрій плавного пуску БСТ-6P

Для двигуна електролафета вибираємо більш потужний пристрій плавного пуску БСТ-60P того ж виробника. Його параметри представлені в таблиці 11.

Таблиця 11 - Параметри пристроїв плавного пуску БСТ-60P

Параметр	Значення
Номинальна напруга мережі частоти 50Гц, В	3x380
Комутований струм двигуна при тривалому включенні, А	60
Потужність підключається двигуна, кВт	22 ... 30
Діапазон настройки номінального струму, А	44 ... 74
Максимальний пусковий струм двигуна протягом 3с, А	360
Допустимий струм короткого замикання в теч. 10мс, А	1700
Швидкодія, мс	50
Час розгону, з	0,2 ... 10
Час гальмування, з	0,2 ... 10
Напруга живлення ланцюгів управління, В	24 ± 4
Температура навколишнього середовища, ° С	-10 ... + 60

### 3.1.10 Вибір частотного перетворювача

Для стабілізації параметрів роботи сушильної камери управління наступним обладнанням повинно проводитися за допомогою частотних перетворювачів:

- вентилятор теплогенератора ТВС-8 (електродвигун АІР180М8 15кВт) - 1шт;
- витяжний вентилятор нагрітого повітря ВР 80-75 №12,5 (електродвигун 5А200М8 18,5кВт) - 1шт;
- вентилятор циркуляції повітря в камерах №1, №2, №3 МВТ-120-470-15Р (лопаті на валу електродвигуна 5,5 кВт) - 3шт.

Розглянемо пропозиції фірм виробників частотних перетворювачів, наявних на ринку:

#### *Частотні перетворювачі TOSHIBA серії ES*

Серія частотних перетворювачів ES характеризується конкурентоспроможними цінами, широкими можливостями по керованості і контролю і великою глибиною регулювання швидкості. Перетворювачі випускаються на номінальну напругу 220В і 380В і на номінальні потужності від 0,75 до 75 кВт. Частотні перетворювачі цієї серії використовуються з асинхронними трифазними двигунами змінного струму загальнопромислового призначення. Серія частотних перетворювачів ES012 задовольняє всім вимогам, що пред'являються до сучасних перетворювачів частоти для загальнопромислового приводу і приводу з «вентиляторної» навантаженням. Частотні перетворювачі серії ES012 здатні створювати підвищений крутний момент і забезпечувати високу точність управління в широкому діапазоні частот.

#### *Частотні перетворювачі HITACHI серії SJ200*

Прогресивне рішення виробника в сфері управління електроприводами, які вимагають високого крутного моменту, стабілізації швидкості обертання в діапазоні регулювання. трифазне живлення-потужність від 0,75 до 132 кВт. Інвертори мають: моделювання вольт-частотної характеристики; векторне управління моментом; динамічне гальмування; режим енергозбереження; автоматичне налаштування на двигун; двоступеневий ПД-регулятор; три програмних набору; інтерфейс RS485.

Застосування: вентилятори, млини, екструдери, пилорами, підйомники, мішалки, крани, ліфти і т.д.

Для вибору виробника порівняємо технічні характеристики частотних перетворювачів для управління двигуном 5А200М8 витяжного вентилятора нагрітого повітря потужністю 18,5кВт: TOSHIBA ES012-04-0390F і HITACHI SJ300-450HF.

Таблиця 12 - Порівняльні характеристики частотних перетворювачів

Параметр	TOSHIBA ES012-04-0390F	HITACHI SJ300-185HF
Потужність застосовуваного двигуна, кВт	18,5	18,5
Вхідна напруга, В	3 фази 200 ... 260	3 фази 200 ... 240
Номінальна потужність, кВт	25,7	60
Номінальний вихідний струм, А	39	38
метод управління	ШИМ	ШИМ
Вихідна частота, Гц	0 - 400	0,1 - 400
Пусковий момент, %	150	150
Точність підтримки швидкості, %	± 0,5	± 0,5
Управління	0 - 5В 0 - 10В 4 - 20мА RS485	0 - 5В -5 - +5 В 0 - 10В -10 - +10 В 4 - 20мА RS485
Захист	по току, по напрузі, від перегріву, КЗ, пропажа фази	по току, по напрузі, від перегріву, КЗ, пропажа фази

Розглянуті пристрої практично однакові за параметрами, але пристрій виробництва TOSHIBA має більший діапазон живлячих напруг і вихідний струм. Тому для управління двигуном 5A200M8 витяжного вентилятора нагрітого повітря вибираємо частотний перетворювач TOSHIBA ES012-04-0390F.

Обраний частотний перетворювач TOSHIBA ES012-04-0390F так само підходить для управління двигуном AIP180M8 вентилятора теплогенератора ТВС-8 потужністю 15кВт. Відповідно для інших вентиляторів циркуляції повітря в камерах №1, №2, №3 МВТ-120-470-15Р з двигуном потужністю 5,5 кВт також будемо використовувати частотні перетворювачі виробництва TOSHIBA ES012-04-0130F. Його параметри представлені в таблиці 13.

Таблиця 13 - Параметри частотного перетворювача TOSHIBA ES012-04-0130F

Параметр	Значення
Потужність застосовуваного двигуна, кВт	5,5
Вхідна напруга, В	3 фази 200 ... 260
Номінальна потужність, кВт	8,6
Номінальний вихідний струм, А	13
метод управління	ШИМ

Вихідна частота, Гц	0 - 400
Пусковий момент,%	150
Точність підтримки швидкості,%	± 0,5
Управління	0 - 5В 0 - 10В 4 - 20мА RS485
Захист	по току, по напрузі, від перегріву, КЗ, пропажа фази

### 3.1.11 Вибір пристрою живлення

Для живлення датчиків і пристроїв сполучення з МК необхідно напруга 24В постійного струму. З огляду на невеликий струм кожним пристроєм, можна використовувати автономні блоки, від яких живиться кілька пристроїв. Так як особливих експлуатаційних вимог до блокам живлення не пред'являється, то в якості типового вибираємо блок живлення DRP024V060W1AA виробництва фірми DELTA.

Таблиця 14 - Технічні характеристики блоку живлення DRP024V060W1AA

Параметр	Значення
Напрузі мережі живлення, В	85 - 264
Частота мережі, Гц	47 - 63
Вхідний струм, А	0,7
ККД,%	85
Вихідна потужність, Вт	60
Вихідна напруга, В	22 - 28
Вихідний струм навантаження, А	2,5

### 3.2 Вибір системи управління об'єктом автоматизації

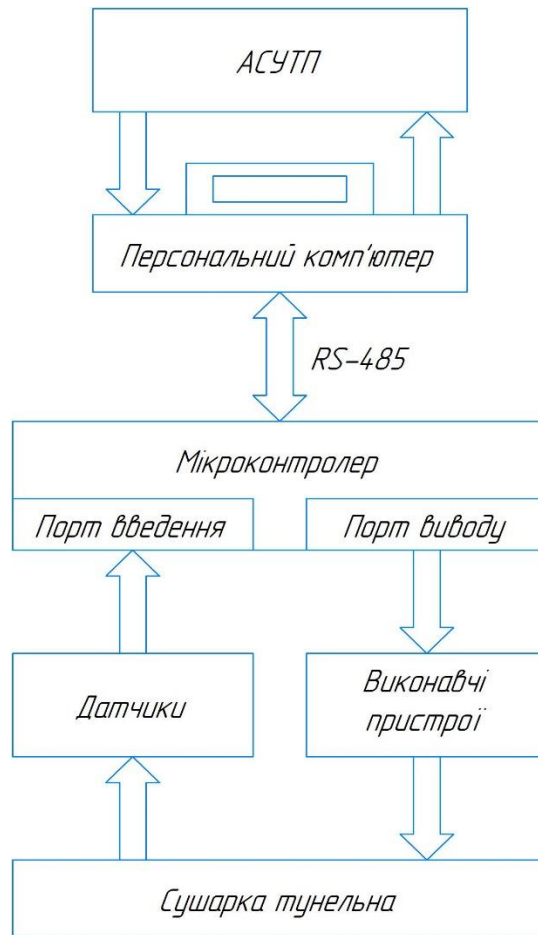
Системи управління об'єктом автоматизації можуть бути в окремих випадках однорівневими централізованими, і багаторівневими. Однорівневі системи управління, в яких управління об'єктом здійснюється з одного пункту управління, називаються централізованими. Однорівневі системи, в яких окремі частини складного об'єкта управляються з самостійних пунктів управління, називаються децентралізованими.

Однорівневі централізовані системи застосовуються в основному для управління відносно нескладними об'єктами або об'єктами, розташованими на невеликій території. Більшість промислових об'єктів, в тому числі тунельна сушка цегли-сирцю, в даний час представляють собою складні комплекси.

Якщо управління такого комплексного об'єкта побудувати по однорівневій централізованій системі, то набагато ускладняться комунікації системи управління, різко зростуть витрати на її спорудження та експлуатацію, центральний пункт управління вийде громіздким. Переробка інформації, велика частина якої є непотрібною для безпосереднього ведення технологічного процесу, представляє великі труднощі. Відстань пункту управління від того чи іншого допоміжного підоб'єкту ускладнює прийняття оперативних заходів щодо усунення тих чи інших неполадок. У цьому випадку більш прийнятною стає однорівнева децентралізована система управління.

Однак за допомогою однорівневих систем не завжди представляється можливим оптимально вирішити питання управління технологічними процесами. Це в першу чергу відноситься до складних технологічних процесів. Тоді доцільно переходити до багаторівневим системам управління.

Прийнявши до уваги організацію процесу сушіння цегли-сирцю, топологію об'єкта та розподіл функціональних елементів технологічного процесу по підприємству, вибираємо 3-х рівневу систему управління. В якій нижній рівень становлять локальні системи збору та обробки інформації; середній рівень - мікроконтролер, керуючий технологічним процесом і верхній рівень - автоматизоване робоче місце. Структурна схема автоматизації процесу сушіння цегли-сирцю представлена на рисунку 25.



АСУ ТП - автоматизована система управління технологічним процесом;

RS-485 - інтерфейс

Рисунок 25 - Структурна схема автоматизації процесу сушіння цегли-сирцю

Нижній рівень автоматизованої системи управління технологічним процесом, що складається з локальних систем збору і обробки інформації, призначений для координації роботи локальних регуляторів через мікроконтролер і автоматизоване робоче місце.

На даному рівні знаходяться датчики і виконавчі пристрої. Основний концептуальною лінією вибору датчиків і виконавчих механізмів на даному рівні є дешевизна, зручність монтажу та обслуговування. Також важлива уніфікованість приладів під сучасні засоби прийому, передачі та обробки інформації.

Середній рівень автоматизованої системи управління технологічним процесом (пристрої зв'язку з об'єктами) включає в себе програмно-апаратні модулі на базі програмованого логічного контролера (ПЛК), пристрої введення-виведення аналогових і дискретних сигналів, комунікаційні модулі, мережеве обладнання.

В автоматичній системі керування сушінням цегли-сирцю мікропроцесорний контролер забезпечує:

- збір інформації від перетворювачів сигналів нижнього рівня;
- фільтрацію, лінеаризацію і масштабування вхідних аналогових сигналів;
- моніторинг технологічного процесу;

- регулювання процесів відповідно до заданих критеріїв верхнього рівня;
- захист обладнання;
- ретрансляцію технологічних параметрів на верхній рівень;
- подачу керуючих сигналів на виконавчі механізми.

Головними критеріями вибору контролера є швидкодія, спряженість інтерфейсів, кількість каналів управління.

На верхньому рівні розташована операторська станція з автоматизованим робочим місцем (АРМ) і сервер системи. На сервері системи розташовується вся архівна інформація, база даних, ПО контролерів. На операторській станції відображається мнемосхема об'єкта, з усіма поточними, вимірюваними параметрами і оператор веде технологічний процес, маючи всю потрібну інформацію на екрані монітора.

До складу автоматизованого робочого місця (АРМ) входить IBM PC комп'ютер з встановленою операційною системою Windows XP, процесором AMD Sempron LE-140 (2.7GHz), ОЗУ 1024MB DDR2 і встановленим програмним комплексом.

### 3.3 Вибір мікроконтролера.

З аналізу обсягу надходить і керуючої інформації, яка представлена в таблиці 15 - Таблиця вхідних сигналів і в таблиці 16 - Таблиця вихідних сигналів випливає, що контролер повинен забезпечувати:

- 2 сигналу зв'язку по протоколу RS-485;
- 18 вхідних аналогових сигналів від стандартних датчиків з діапазоном струму 4 - 20 мА;
- 13 вхідних дискретних сигналів від датчиків положення;
- 5 вихідних аналогових сигналів управління з діапазоном струму 4 - 20 мА до частотним перетворювачів;
- 11 дискретних вихідних сигналів управління пристроями плавного пуску приводів заслінок, електротельферів і електролафета.

Так як всі контрольовані і керовані технологічні процеси повільно поточні [, то прийнятним часом між дискретними циклічними опитуваннями керованого процесу для обраного контролера може бути 1 с.

Для поставленої задачі можливо використовувати як ПЛК - програмовані логічні контролери так і PC-based автоматику, яка базується на промисловому комп'ютері.

Беручи до уваги тривалий час циклу опитування датчиків і видачі керуючого впливу, можна зробити висновок, що необхідність у використанні швидкодіючої але дорожчий PC-based автоматики немає.

Сформульовані вимоги можуть забезпечити такі контролери:

### *Контролер мікропроцесорний Ломіконт 110*

Нове покоління контролера Ломіконт 110 має в своєму складі новий базовий модуль PRC-TM (БК2), який побудований на основі одноплатного PC-комп'ютера. Він призначений для контролю стану технологічних процесів, логічного управління, багатоконтурного регулювання та інших завдань, що вимагають великої інформаційної та обчислювальної потужності. Має потужний процесор i486 з частотою 100 МГц і високошвидкісні комунікаційні засоби на базі RS-485 або Ethernet. Граничний обсяг пам'яті розширюється до 32Мб.

Сумісність "зверху-вниз" дозволяє проводити заміну базового комплексу контролера Ломіконт 110 (БК1) на базовий модуль PRC-TM без зміни УСО і схеми підключення до об'єкта, тобто (БК1 на БК2).



Рисунок 26 - Контролер мікропроцесорний Ломіконт 110

В поставку контролера входить Базова версія інструментальної системи TRACE MODE 6 для Windows NT / 95/98/2000 на 64000 I / O. OPC-сервер дозволить підключити Ломіконт 110 до будь-якої сучасної SCADA на вибір замовника.

Основні характеристики:

Апаратне забезпечення:

- процесор 486, частота 100 МГц;
- ОЗУ 8МБ (розширюване до 32МБ);
- флеш-пам'ять - 8МБ (розширювана до 32МБ);
- час циклу опитування - від 0,1 с до 2 с;
- астрономічний годинник-календар;
- сторожовий таймер;
- мережа Ethernet IEEE 802.3 10 Мбіт / с, кручена пара;
- послідовний порт COM 1 (RS -232);



- послідовний порт COM2 (RS -232 / RS -485 / пульт);
- паралельний порт (LPT 1);
- VGA порт;
- дискретні входи - до 1024;
- дискретні виходи - до 512;
- аналогові входи - до 256;
- аналогові виходи - до 128;
- робочий діапазон температур + 5 ° C - + 50 ° C;
- гаряче резервування.

Програмне забезпечення:

- вбудований Мікро MPB TRACE MODE 5;
- транслятор "Мікрол-Техно I;
- мінімальний цикл-1 мс;
- бібліотека з 150 технологічних алгоритмів;
- фільтрація;
- ПІД, нечітке, позиційне регулювання;
- ШІМ-перетворення;
- адаптивні і модальні регулятори;
- управління пристроями: клапан, засувка, привод, мотор, насос, група моторів і т.д

..

#### *Контролер мікропроцесорний Ремиконт Р-130*

Контролер мікропроцесорний Ремиконт Р-130 призначений для побудови сучасних автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУ ТП) і дозволяє виконувати оперативне управління з використанням персональних ЕОМ, автоматичне регулювання, автоматичне логіко-програмне управління, автоматичне керування зі змінною структурою, захист і блокування, сигналізацію, реєстрацію подій.

Технологічне програмування контролера мікропроцесорного Ремиконт Р-130 виконується без програмістів, фахівцями, знайомими з традиційними засобами контролю і управління в АСУ ТП. Запрограмована інформація зберігається при відключенні живлення за допомогою вбудованої батареї.



Рисунок 27 - Контролер мікропроцесорний Ремиконт Р-130

Контролер мікропроцесорний Ремиконт Р-130 має проектну компоновку, яка дозволяє користувачеві вибрати потрібний набір модулів і блоків, згідно з кількістю і виду входних - вихідних сигналів. У контролер вбудовані розвинені засоби самодіагностики, сигналізації і ідентифікації несправностей. Вони реагують на відмову комплектуючих виробів, вихід сигналів за допустимі межі, збій в ОЗУ, порушення обміну по кільцевій мережі і т.п. Для дистанційної сигналізації про відмову передбачені спеціальні дискретні виходи.

За інтерфейсним входом-виходом контролери мікропроцесорні Ремиконт Р-130 можуть об'єднуватися в локальну керуючу мережу «Транзит» кільцевої конфігурації, яка за допомогою блоку «Шлюз БШ-1» може взаємодіяти з будь-яким зовнішнім абонентом (наприклад, ЕОМ).

В процесі збору та обробки інформації від датчиків користувач може виконувати необхідну корекцію входних сигналів, їх лінеаризацію, фільтрацію, а також будь-яку арифметичну операцію, в тому числі витяг квадратного кореня. У контролер встановлюються 2 будь-яких змінних модуля входу - виходу УСО (пристрої зв'язку з об'єктом):

- МАС - модуль аналогових сигналів (число входів - 182);
- МДА - модуль дискретно-аналоговий (число входів - 284);
- МСД - модуль сигналів дискретних (число входів - 4 ... 412).

вхідні сигнали

- сигнали від термопар ТХК, ТХА, ТПР, ТВР, ТПП;
- сигнали від термометрів опорів ТСМ, ТСП;
- уніфіковані аналогові сигнали постійного струму 0-5, 0-20, 4-20 мА; 0-10;

- дискретні сигнали:
- логічна «1» напругою від 19 до 32В;
- логічний «0» напругою від 0 до 7В.

вихідні сигнали

- уніфіковані аналогові сигнали постійного струму 0-5, 0-20, 4-20 мА;
- дискретні сигнали:
- транзитного виходу - максимальна напруга комутації 40В, максимальний струм навантаження 0,3А;
- потужнострумове релейного виходу - максимальна напруга комутації 220В, максимальний струм навантаження 2А.

Технічні характеристики:

- обсяг пам'яті: ПЗУ - 32 кбайт, ОЗУ - 8 кбайт, ППЗУ - 8 кбайт;
- поточний час (таймери, програмні задатчики і т.д.), постійні часу, інтервали від 0 до 819с, від 0 до 819ч;
- час циклу - від 0.2 до 2 с;
- кількість алгоблоків - 99;
- кількість алгоритмів в бібліотеці - 76;
- похибки перетворення: АЦП -  $\pm 0.4\%$ ; ЦАП -  $\pm 0.5\%$ ;
- час збереження інформації при відключенні живлення - 10 років;
- канали інтерфейсного зв'язку - ІРПС або RS-232С;
- швидкість обміну - 1,2; 2,4; 4,8; 9,6 кбіт / с;
- споживана потужність контролера - 15 ВА;
- напруга живлення - 220В або 240В змінного струму, 24В постійного струму (при відсутності блоку БЖ-1);
- умови експлуатації: температура від 1 до 45 ° С, вологість до 80%.

#### *Контролер ОВЕН ПЛК160 з модулем віддаленого виведення ОВЕН МВУ8*

Контролер ОВЕН ПЛК160 призначений для побудови розподілених систем управління і диспетчеризації з використанням як провідних, так і бездротових технологій. Контролери виконані в компактному DIN-рейковому корпусі. Розширення кількості точок введення-виведення здійснюється шляхом підключення зовнішніх модулів вводу-виводу за допомогою одного з вбудованих інтерфейсів. У контролері спочатку закладені потужні обчислювальні ресурси при відсутності операційної системи:

- високопродуктивний процесор RISC архітектури ARM9, з частотою 180МГц компанії Atmel;
- обсяг оперативної пам'яті - 8МБ;



Рисунок 28 - Контролер ОВЕН ПЛК160

- обсяг постійної пам'яті - Flash пам'ять, 4МБ;
- обсяг енергонезалежної пам'яті, для зберігання значень змінних - до 16КБ;
- час циклу за замовчуванням становить 1мс при 50 логічних операціях, при цьому він відключений обміну;
- широкі можливості самодіагностики контролера;
- вбудований акумулятор, що дозволяє «перечікувати» пропавша живлення - виконувати програму при пропажі живлення, і переводити вихідні елементи в «безпечний стан». Час «перечікування» налаштовується користувачем при створенні проекту;
- вбудований годинник реального часу;
- можливість створювати і зберігати архіви на Flash контролера.

Технічні характеристики:

- аналогові входи - 8 уніфікованих;
- аналогові виходи - 12;
- дискретні входи - 16;
- дискретні виходи - 12;
- мережа Ethernet 10/100 - 1;
- RS-232, RS-485 - 3;
- USB для програмування контролера - 1

Оцінивши найбільш важливі параметри можна сказати, що контролер Ломіконт 110 володіє всіма необхідними властивостями. Хоча контролер ОВЕН ПЛК 160 з модулем віддаленого виведення МВУ8 також володіє схожими параметрами, йому недостатньо необхідної кількості аналогових входів.

Зробимо розрахунок часу реакції входів / виходів, а також часу циклу обраного мікроконтролера.

Час затримки одного каналу аналогового введення включає в себе наступні складові:

$$T_{IN\ AN\ 1} = T_{ВХ\ \Phi} + T_{Вих\ \Phi} + T_{ОП} + T_{ПЕР} + T_{ОБР}, \quad (3.1)$$

де:  $T_{ВХ\ \Phi} = 20\text{мс}$  - час затримки вхідного цифрового фільтра;

$T_{Вих\ \Phi} = 20\text{мс}$  - час затримки вихідного фільтра;

$T_{ОП} = 10\text{мс}$  - період опитування аналогового входу;

$T_{пер} = 2\text{мс}$  - час передачі результатів вимірювання в основний контролер;

$T_{обр} = 5\text{мс}$  - час обробки прийнятих результатів вимірювання.

$$T_{IN\ AN} = 20 + 20 + 10 + 2 + 5 = 57\text{мс}$$

Час затримки аналогового введення для МК становитиме:

$$T_{IN\ AN} = T_{IN\ AN\ 1} \cdot N_{IN\ AN}, \quad (3.2)$$

де  $N_{IN\ AN} = 18$  - кількість аналогових входів.

$$T_{IN\ AN} = 57 \cdot 18 = 1026\text{мс}$$

Час затримки аналогового виведення складається з наступних складових:

$$T_{OUT\ AN\ 1} = T_{пер\ В} + T_{пер\ ЦАП}, \quad (3.3)$$

де  $T_{пер\ В} = 60\text{мс}$  - час передачі значення аналогового виходу з основного контролера в допоміжний контролер;

$T_{пер\ ЦАП} = 20\text{мс}$  - час передачі значення аналогового виходу з допоміжного контролера в ЦАП.

$$T_{OUT\ AN\ 1} = 60 + 20 = 80\text{мс}.$$

Час затримки аналогового виведення для МК становитиме:

$$T_{OUT\ AN} = T_{OUT\ AN\ 1} \cdot N_{OUT\ AN}, \quad (3.4)$$

де  $N_{OUT\ AN} = 5$  - кількість аналогових виходів,

$$T_{OUT\ AN} = 80 \cdot 5 = 400\text{мс}$$

Визначимо час циклу МК за формулою:

$$T_{AN} = T_{IN\ AN} + T_{OUT\ AN} \quad (3.5)$$

$$T_{AN} = 1026 + 400 = 1426\text{мс}$$

### 3.3 Компонування схеми автоматизації

Розробка проекту автоматизації процесу виготовлення цегли виробляється на основі функціональної схеми.

Компонування обладнання та лінії зв'язку представлені на схемі електричної з'єднань.

У приміщенні підготовки повітря встановлені теплогенератор ТВС-8 і витяжний вентилятор ВР 80-75 №12,5. Для подачі гарячого повітря в сушильні камери і видалення нагрітого повітря є два окремих магістральних повітропроводи виготовлені з оцинкованого заліза. Повітропровід гарячого повітря з'єднується з теплогенератором, який нагнітає в нього гаряче повітря. Повітропровід нагрітого повітря з'єднується з витяжним вентилятором, який видаляє нагріте повітря в атмосферу. Управління

продуктивністю теплогенератора і витяжного вентилятора проводиться мікро контролером шляхом подачі керуючого сигналу на частотні перетворювачі.

Перед кожною камерою зроблені відводи від магістральних повітропроводів. На цих відводах змонтовані заслінки повітряні прямокутні АЗД190 з електроприводом МЕОФ-40 / 25-0,25К. За допомогою цих заслінок проводиться регулювання витрати подаваного в камеру гарячого повітря і відведеного з камери нагрітого повітря. Ступінь відкриття заслінок контролюється вбудованим датчиком положення, який виробляє уніфікований сигнал 4-20 мА. Витрата гарячого повітря вимірюється термоанемометром, первинний перетворювач якого встановлений після регулюючої заслінки. Крім того в кожній з камер встановлені вентилятори циркуляції повітря.

Первинні перетворювачі датчиків вимірювання температури і вологості повітря і ваги вагонетки встановлюються безпосередньо на обладнанні в блоках сушильної камери. За допомогою датчиків положення контролюється стан дверей, які поділяють камери і положення вагонетки.

Інформація від датчиків по лініях зв'язку передається в шафу управління, розташований в службовому приміщенні КВПіА.

У шафі КВПіА також змонтований промисловий контролер, пам'ять якого запрограмована на забезпечення функціонування технологічного обладнання відповідно до обраного алгоритму управління. Там же розташовані засоби управління приводами і виконавчими механізмами (пристрої плавного пуску, частотні перетворювачі).

Засоби управління приводами повітряних заслінок, електротельферів, електролафета, вентилятора теплогенератора, вентиляторів циркуляції і витяжки повітря харчуються від 3-х фазної промислової мережі змінного струму. Захист силових ланцюгів забезпечується автоматичними вимикачами.

Живлення датчиків і засобів сполучення з промисловим контролером здійснюється за допомогою локальних блоків живлення DRP024V060W1AA 24В 2,5А.

#### 3.4 Вхідні-вихідні сигнали для вибору периферійних пристроїв

Складемо таблицю вхідних і вихідних сигналів системи, для того, щоб узгодити їх і вибрати периферійні пристрої. Вхідні сигнали для системи управління представлені в таблиці 15, вихідні сигнали управління - в таблиці 16.

На підставі даних таблиці 15 і таблиці 16 є:

- 2 сигналу зв'язку по протоколу RS-485;
- 18 вхідних аналогових сигналів від стандартних датчиків з діапазоном 4 - 20 мА;
- 13 вхідних дискретних сигналів від датчиків положення;
- 5 вихідних аналогових сигналів управління з діапазоном струму 4 - 20 мА до частотним перетворювачів;

- 11 дискретних вихідних сигналів управління пристроями плавного пуску приводів заслінок, електротельферів і електролафета.

Таблиця 15 - Таблиця вхідних сигналів

№ п/п	Сигнал	Датчик	Діапазон сигналу	Діапазон вимірювань	Точність	Діапазон контролю
1, 2	Вологість сирцю перед сушінням і після сушіння	Вологомір будматеріалів ВИМС-2.2	RS-485	0 – 100%	±1,5%	3 – 25%
3–5	Положення заслінки гарячого повітря в камерах №1, №2, №3	Блок сигналізації положення вихідного валу БСПТ-10	4 – 20мА	0 – 90°	±2,5%	0 – 90°
6–8	Положення заслінки нагрітого повітря в камерах №1, №2, №3	Блок сигналізації положення вихідного валу БСПТ-10	4 – 20мА	0 – 90°	±2,5%	0 – 90°
9-11	Витрата гарячого повітря в камерах №1, №2, №3	Термо-анемометр серії ЕЕ75	4 – 20мА	0 – 3·10 <sup>6</sup> м <sup>3</sup> /ч	±2%	0 – 6·10 <sup>3</sup> м <sup>3</sup> /ч
12-14	Вологість повітря в камерах №1, №2, №3	Датчик вимірювання вологості і температури 431416	4 – 20мА	0 – 100%	±2%	0 – 50%
15-17	Температура повітря в камерах №1, №2, №3	Датчик вимірювання вологості і температури 431416	4 – 20мА	–30...+70°С	±2%	+20...+50 °С
18-20	Вага вагонетки і сирцю в камері №1, №2, №3	Датчик ваги С2-Е і перетворювач сигналів тензорезисторних датчиків 4507 ПА	4 – 20мА	0 – 2т	±2%	0 – 0,72т
21-25	Позиція вагонетки перед камерою №1, в камерах №1, №2, №3 та в зоні вивантаження	Датчик фотоелектричний С-113 Серія 5000 - "Синя" лінія	NPN и PNP 0 – 100мА	0,05 – 10м	±2%	0 – 5м
26-33	Положення розсувних дверей між камерами №1, №2, №3	Індуктивний безконтактний вимикач серії PR	NPN и PNP 0 – 10мА	0,5 – 15мм	±5%	0 – 10мм

Таблиця 16 - Таблиця вихідних сигналів

№ п/п	Сигнал	Діапазон сигналу	Тип сигналу	Виконавчий механізм	Примітка
1–3	Управління двигуном вентилятора циркуляції повітря в камерах №1, №2, №3	4 – 20 мА	ШИМ	МВТ-120-470-15Р	3 ф, ~220В, 5,5кВт, 15 – 120Гц
4	Управління двигуном витяжного вентилятора нагрітого повітря ВР 80-75 №12,5	4 – 20 мА	ШИМ	5А200М8	3 ф, ~220В, 18,5кВт, 15 – 120Гц
5	Управління двигуном вентилятора теплогенератора ТВС-8	4 – 20 мА	ШИМ	АИР180М8	3 ф, ~220В, 15кВт, 15 – 120Гц
6–8	Управління заслінкою гарячого повітря в камерах №1, №2, №3	0 – 24В	Дискрет.	МЭОФ-40/25-0,25К	3 ф, ~220В, 110Вт,
9–11	Управління заслінкою нагрітого повітря в камерах №1, №2, №3	0 – 24В	Дискрет.	МЭОФ-40/25-0,25К	3 ф, ~220В, 110Вт,
12–15	Управління двигуном електротельфера	0 – 24В	ШИМ	АГД100L8	3 ф, ~220В, 1,5кВт
16	Управління двигуном електролафета	0 – 24В	ШИМ	4АМ250S7УЗ	3 ф, ~220В, 25кВт

### 3.5 Алгоритм роботи системи управління

Сушильна камера працює в одному з 4-х режимів: 1 підготовка до роботи; 2 - завантаження; 3 - сушка; 4 - розвантаження. Для кожного з цих етапів розроблений відповідний алгоритм.

Підготовка до роботи проводиться при пуску сушильної камери після її зупинки на тривалий час. Перед початком роботи необхідно звільнити сушильні камери і зону вивантаження від вагонеток. Якщо в будь-якої з камер або в зоні вивантаження зафіксовано наявність вагонетки, система управління переходить в режим «Розвантаження». Якщо вагонетки не виявлені, проводиться закривання всіх дверей. Після того, як всі двері будуть закриті, відкриваються заслінки гарячого повітря, а заслінки нагрітого повітря закриваються. Теплогенератор і вентилятори циркуляції повітря в камерах №1, №2 та №3 включаються на 100% потужності, щоб забезпечити швидкий прогрів камер до температури завантаження. Коли умови завантаження будуть досягнуті, вентилятори циркуляції повітря відключаються, а теплогенератор переводиться в режим стабілізації температури.



У режимі «Завантаження» проводиться переміщення вагонеток між зоною завантаження, камерами №1, №2, №3 і зоною вивантаження. Спочатку контролюється наявність вагонетки в зоні завантаження. У разі її відсутності оператору видається застережливий сигнал «Зона завантаження не зайнята». При наявності вагонетки в зоні завантаження, проводиться вимірювання вологості і ваги цегли-сирцю перед сушінням. Далі перевіряється зона вивантаження. Якщо в зоні вивантаження залишилася вагонетка, її необхідно прибрати і для цього оператору видається застережливий сигнал «Зона вивантаження зайнята» і триває перевірка доти, поки зона вивантаження НЕ буде вільна. Коли зона вивантаження вільна - відбувається відкривання дверей. Після того, як двері будуть відкриті, включиться електролафети і вагонетки почнуть переміщатися вперед на 1 позицію. Як тільки буде зафіксовано досягнення вагонетками потрібної позиції, електролафети вимкнуться і надійде команда на закриття дверей. Якщо всі двері закриті - дозволяється перехід в режим «Сушка».

У режимі «Сушка» проводиться вимірювання ваги вагонетки, вологості і температури повітря в камерах №1, №2 та №3. За результатами вимірювань розраховується швидкість і час сушки. Відповідно до розрахункових даних видається керуючий сигнал на частотні перетворювачі, керуючі швидкістю обертання вентиляторів циркуляції, витяжного вентилятора і теплогенератора. Ступінь відкриття заслінок гарячого і нагрітого повітря встановлюється шляхом подачі керуючого сигналу на реверсивні пускачі і контролюється сигналом від датчика положення. Після закінчення тимчасового інтервалу, що визначається постійною часу сушіння, проводиться порівняння розрахункового часу сушки з часом перебування вагонетки в сушильній камері.

Якщо сушка тривала менше розрахункового часу, проводиться вимірювання ваги вагонетки, вологості і температури повітря в камерах №1, №2 та №3. За результатами вимірювань проводиться розрахунок фактичної швидкості сушіння, який порівнюється із заданим значенням. За величиною відхилення фактичної швидкості сушіння від заданої, приймається одне з таких рішень:

- при різниці менше 5% - змінити швидкість обертання вентиляторів циркуляції повітря;
- при різниці більше 5% але менше 10% - змінити ступінь відкриття заслінок гарячого і нагрітого повітря;
- при різниці більше 10% - змінити швидкість обертання витяжного вентилятора і теплогенератора.

Продовжувати процес сушіння до закінчення тимчасового інтервалу, що визначається постійною часу сушіння. Після закінчення тимчасового інтервалу знову проводиться порівняння розрахункового часу сушки з часом перебування вагонетки в

сушильній камері. Таким чином, процес буде циклічно повторюватись, поки час сушіння не досягне розрахункового.

Режим «Розвантаження» використовується, якщо необхідно зупинити роботу сушильної камери або звільнити камери від вагонеток при роботі в режимі «Завантаження». Спочатку подається команда на відкривання дверей. Потім перевіряється наявність вагонеток в камерах №1, №2 та №3. При відсутності вагонеток - режим «Розвантаження» завершується. Якщо хоча б одна вагонетка в камерах №1, №2 та №3 буде виявлена - проводиться перевірка на наявність вагонетки в зоні вивантаження. Якщо вагонетка в зоні вивантаження виявлена - оператору видається застережливий сигнал «Зона вивантаження зайнята» і триває перевірка доти, поки зона вивантаження НЕ буде вільна. Коли зона вивантаження буде вільна - включиться електролафети і перемістять вагонетки на 1 позицію. Знову перевіряється наявність вагонеток в камерах №1, №2 та №3 і процес триває до тих пір, поки всі вагонетки не будуть видалені.

## 4 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

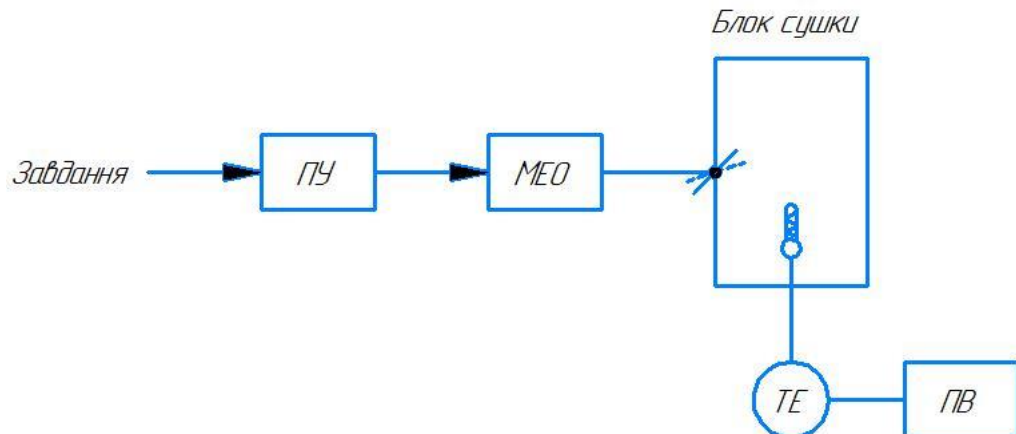
### 4.1 Отримання кривої розгону

Як зазначалося раніше, завдання стабілізації параметрів сушіння формулюється як підтримання температури і витрати сушильного повітря. Регулювання реалізується завдяки зміні положення заслінок, змонтованих в повітроводах. Більш точне формулювання завдання регулювання можлива на основі детального вивчення процесу сушіння і багатофакторного моделювання, що не входить в завдання даного проекту.

Передавальну функцію ТОУ отримаємо на основі експериментальних даних, які представляються кривою розгону (перехідною характеристикою).

Криву розгону визначаємо на діючому об'єкті, змінюючи його вхідну величину - ступінь відкриття заслінки. Зміна положення заслінки призводить до зміни витрати сушильного повітря, в результаті чого змінюється температура і вологість блоку сушки. Вихідним параметром ТОУ є температура повітря, яка вимірюється за допомогою термометра опору.

Агрегати сушки, які характеризуються великими постійними часу, допускають введення збурень величиною 5- 10% від номінального навантаження. Тому криву розгону визначаємо на діючому об'єкті, змінюючи його вхідну величину - ступінь відкриття заслінки на  $10^\circ$  і вимірюючи температуру. Структурна схема зняття кривої розгону температури сушильної камери представлена на рисунку 29.



ПУ- пристрій управління, МЕО - виконавчий механізм, ТЕ - датчик температури,

ПВ - пристрій вимірювання

Рисунок 29 - Структурна схема експерименту

Графік нормованої кривої розгону при стрибкоподібній зміні положення заслінки від номінального  $\varphi_0 = 50^\circ$  до  $\varphi_1 = 60^\circ$  наведені на рисунку 30. Нормування враховує, що температура повітря змінюється від  $T_0 = 50^\circ\text{C}$  до  $T_1 = 55^\circ\text{C}$ .

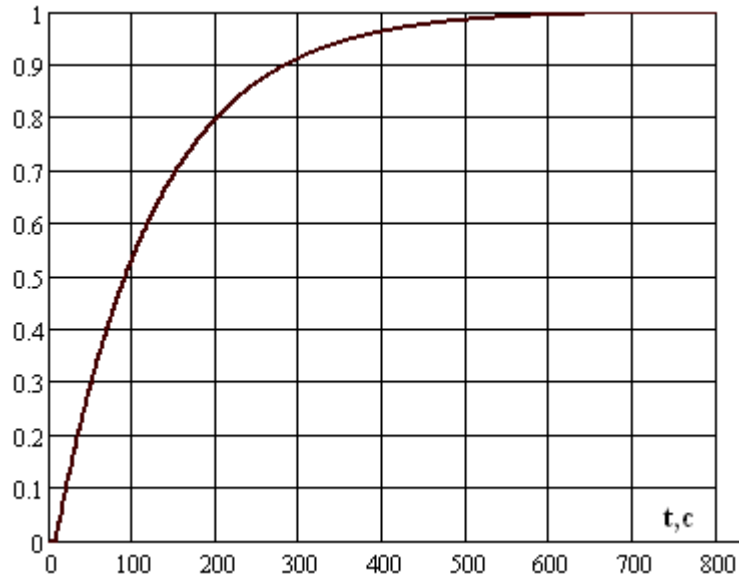


Рисунок 30 - Експериментальна перехідна характеристика

Оскільки на розгінній кривій відсутні різкі злами, будемо апроксимувати передавальну функцію об'єкта передавальною функцією інерційної ланки з запізненням:

$$W_C(p) = \frac{K \cdot e^{-\tau p}}{T_C \cdot p + 1}, \quad (4.1)$$

де  $K$  - коефіцієнт передачі;

$T_C$  - постійна часу сушіння, с;

$\tau$  - запізнення, з

Ці постійні визначаються з перехідною характеристикою об'єкта, показаної на рисунку 31.

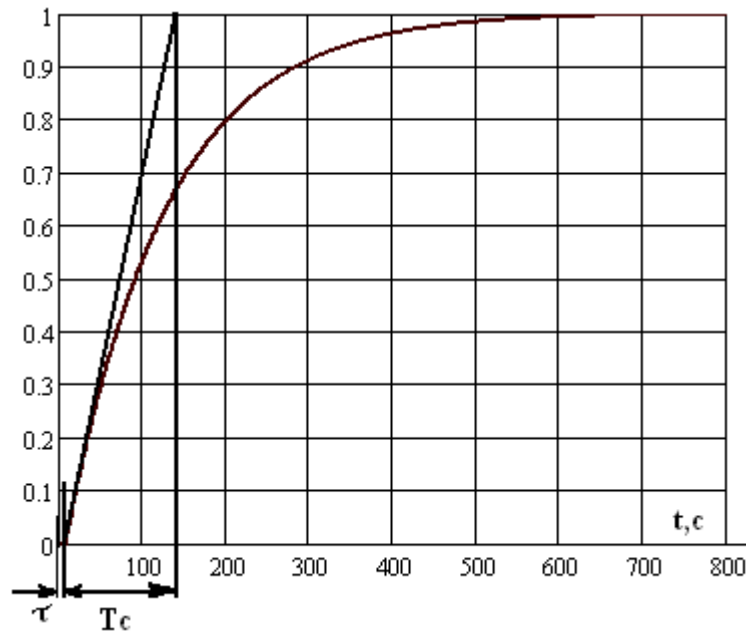


Рисунок 31 - Значення постійних часу

З рисунка 28 видно, що  $\tau = 10$ с, а  $T_C = 130 - 10 = 120$ с.

Відповідно коефіцієнт передачі дорівнює відношенню вихідної величини  $h$  в сталому режимі до вхідних величиною  $t$ :

$$K = \frac{h_{yCT}}{t} = \frac{1}{120} = 0,008 \quad (4.2)$$

В результаті передавальна функція визначається наступним чином:

$$W_C(p) = \frac{0,008 \cdot e^{-10p}}{120 \cdot p + 1} \quad (4.3)$$

#### 4.2 Отримання передавальної функції об'єкта

Схема і параметри регулятора вибираються, виходячи з вимог до якості регулювання, які диктуються які обслуговує технологічним процесом. У нашому випадку ТОУ характеризується великими постійними часу, тому реалізуємо пропорційно інтегральний (ПІ) регулятор, доповнивши його, при необхідності, блоками посилення.

Задаємо передавальну функцію ПІ-регулятора як функцію невідомих параметрів настройки:

$$W_{CH}(p) = k_y + \frac{k_H}{p} \quad (4.4)$$

У разі послідовного з'єднання регулятора з об'єктом передавальна функція розімкненої системи управління:

$$W_{PC}(p, k_y, k_H) = W_{CH}(p, k_y, k_H) \cdot W_C(p) \quad (4.5)$$

Відповідно, передавальна функція замкнутої системи щодо керуючого сигналу має вигляд:

$$W_{C3}(p) = \frac{W_{PC}(p, k_y, k_H)}{1 + W_{PC}(p, k_y, k_H)} \quad (4.6)$$

Для визначення значимого діапазону пропускання частот будуюмо графік амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) замкнутої системи для будь-яких прийнятних налаштувань. Для цього в вираз для  $W_{C3}(p)$  підставимо  $p = j\omega$ .

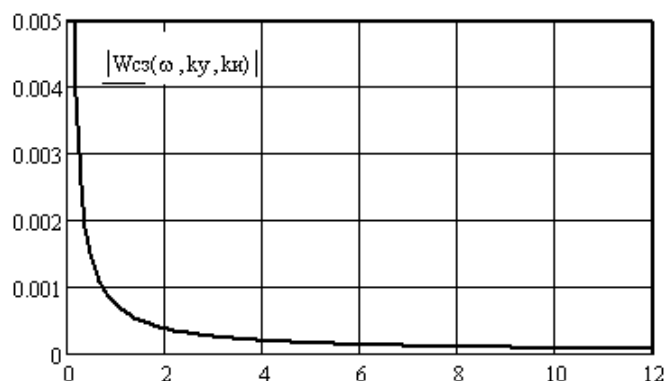


Рисунок 32 - АЧХ замкнутої системи

З отриманого графіка визначаємо значимий діапазон пропускання частот, який обмежуємо верхньої частотою інтегрування  $\omega_K = 8$ .

Для розрахунку перехідної характеристики формуємо функцію:

$$h(t, k_{\phi}, k_{\dot{e}}) := 0,637 \int_0^{t_{\text{ок}}} \operatorname{Re} (W_{i\zeta} ((p, k_{\phi}, k_{\dot{e}}))) \cdot \frac{\sin(\omega \cdot t)}{\omega} \quad (4.7)$$

Будуємо перехідну характеристику для довільних значень невідомих параметрів налаштування з метою оцінки орієнтовною тривалості перехідного процесу.

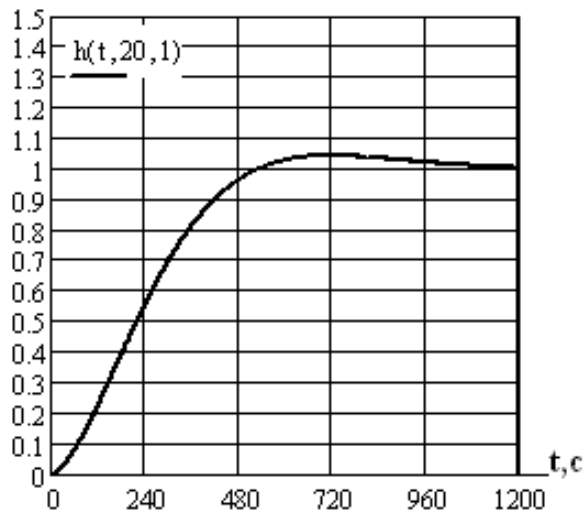


Рисунок 33 - Перехідна функція замкнутої системи регулювання при  $K_y = 20$ ,  $K_i = 1$

З графіка перехідної функції системи регулювання визначаємо орієнтовний значення часу перехідного процесу  $t_k = 1200\text{c}$ , при цьому стале значення перехідної функції  $h_{\text{уст}} = 1$ .

Щоб визначити налаштування параметрів регулятора, слід сформулювати критерій якості регулювання. Найбільш поширеним є квадратичний критерій, який визначається як квадрат різниці перехідної характеристики і сталого значення в функції параметрів регулятора:

$$\Delta h(t, k_y, k_i) = [h(t, k_y, k_i) - 1]^2$$

Скористаємося програмним пакетом MathCAD і методом трапецій розрахуємо квадратичний критерій відхилення перехідної характеристики:

$$\text{ipp}(f, k_y, k_i, N, t_n, t_k) := \left| \begin{array}{l} s \leftarrow 0 \\ v \leftarrow \frac{(t_k - t_n)}{N} \\ \text{for } t \in t_n + v, t_n + 2 \cdot v .. t_k - v \\ \quad s \leftarrow s + v \cdot f(t, k_y, k_i) \\ s \leftarrow s + \frac{(f(t_n, k_y, k_i) + f(t_k, k_y, k_i))}{2} \\ s \end{array} \right.$$

де  $f$  - підінтегральна функція (4.7);

$k_y, k_i$  - параметри настройки;

$N$  - кількість кроків інтегрування;

Графік залежності квадратичної інтегральної оцінки якості перехідного процесу від значення коефіцієнта  $k_n$  при різних значеннях коефіцієнта посилення ПІ-регулятора наведено на рисунку 34.

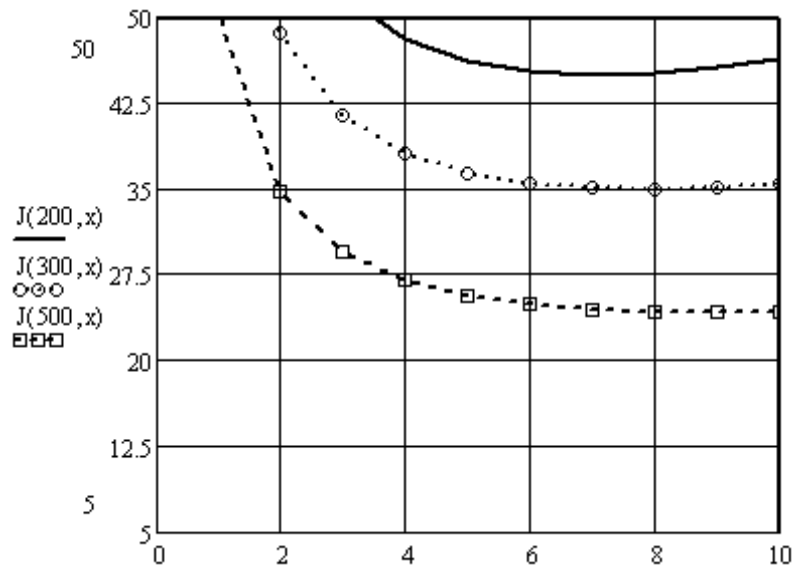


Рисунок 34 - Залежності критерію при різних значеннях коефіцієнта посилення ПІ-регулятора

Аналіз отриманих графіків показує, що при малих значеннях коефіцієнта посилення  $k_y$  залежність мають екстремальний характер. При збільшенні  $k_y$ , залежність набуває більш плавний характер. Мінімальне значення інтегрального критерію відповідає  $k_n = 6$ .

Фіксуємо коефіцієнт посилення  $k_n = 8$  і будуємо графік залежності квадратичної інтегральної оцінки від коефіцієнта посилення  $k_y$ .

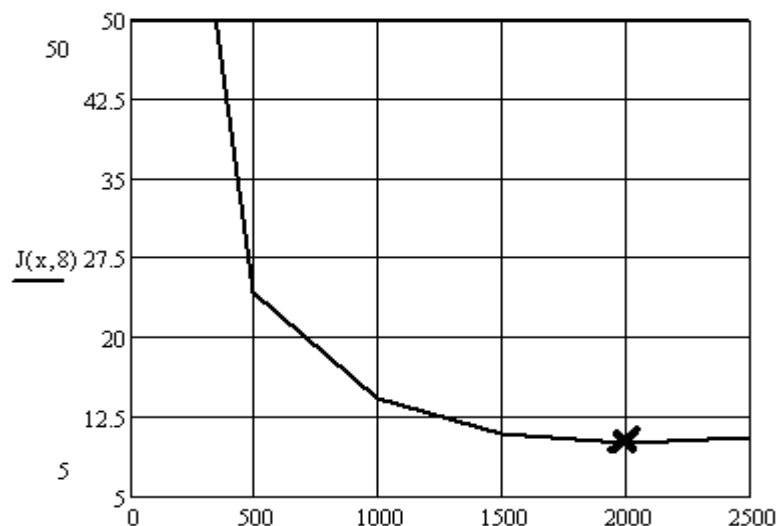


Рисунок 35 - Залежності критерію від коефіцієнта посилення ПІ-регулятора  
Мінімальне значення інтегрального критерію відповідає значенню  $k_y = 2000$ .

Для знайдених оптимальних значень параметрів  $k_y = 2000$  і  $k_n = 8$  виконуємо імітаційне моделювання (будуємо перехідний процес) і знаходимо основні показники якості.

Для порівняння на цьому ж графіку будуюмо перехідні характеристики при змінених параметрах налаштувань.

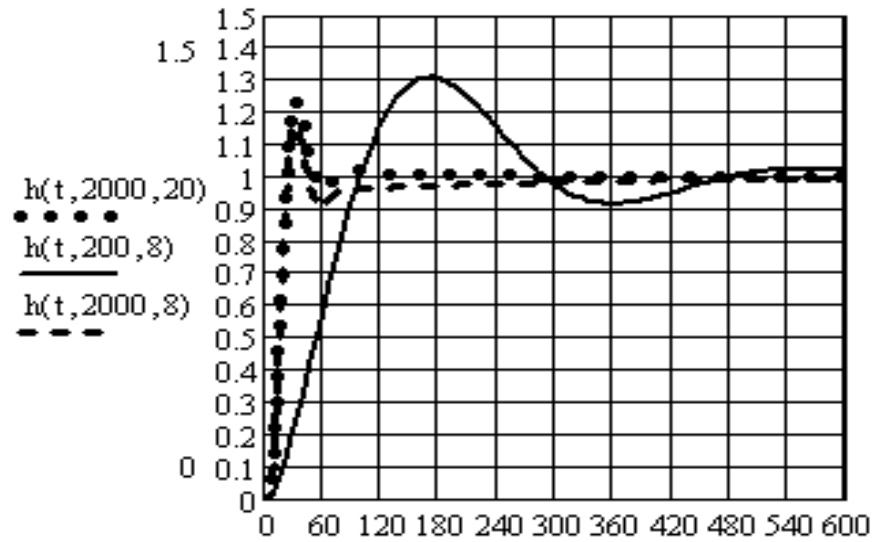


Рисунок 36 - Перехідна характеристика при різних значеннях параметрів налаштувань ПІ-регулятора:  $k_y$  ОПТ = 2000;  $k_n$  ОПТ = 8;  $\sigma = 12\%$ ;  $t = 360$ с

*Висновок:* Розраховані параметри можуть бути використані при розробці алгоритму регулювання температури блоку сушки.



## ВИСНОВОК

Технологічний процес сушіння цегли-сирцю є досить енерговитратним. Без автоматичного контролю і регулювання параметрів неможливо забезпечити ефективне управління процесом сушіння.

Запропонований підхід до побудови нечіткого регулятора для управління технологічним процесом сушіння керамічних матеріалів дає можливість вирішити задачу стабілізації якості продукції, що випускається і підвищити продуктивність роботи технологічного обладнання.

Автоматизована система керування процесом сушіння цегли-сирцю забезпечує досить безпечний і ефективний режим контролю і регулювання основних технологічних параметрів процесу. Впровадження системи автоматичного управління забезпечує найбільш економічне витрачання енергії.

Вибрані технічні засоби автоматизації дозволяють вести процес і управляти механізмами дистанційно, в автоматичному режимі і надійно блокувати їх роботу при виникненні аварійних ситуацій, що дуже важливо у виробництві.

Контролер є основною ланкою обробки інформації та центральним керуючим органом комплексу. Він виконує команди програми і організовує обробку інформації.

Подальше вдосконалення системи автоматизації засноване на об'єднанні локальних підсистем керування в розподілену систему. До її складу пропонується включити підсистеми управління сушаркою, обпалювальної піччю, допоміжним обладнанням (ДО) і АРМ оператора з можливістю відображення графічної інформації з технологічних об'єктів, об'єднаним комунікаційним сервером для об'єднання різномірних підсистем в єдину інформаційно-керуючу систему і синхронізації роботи окремих підсистем.

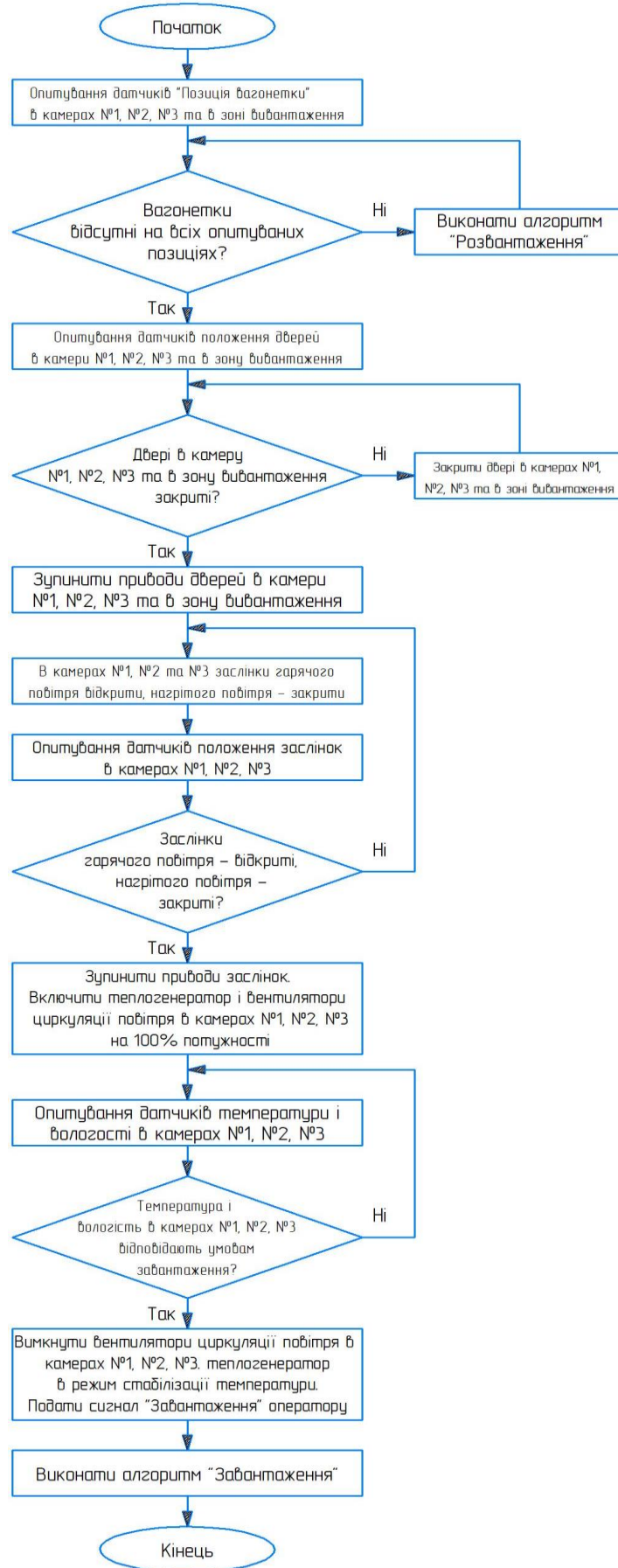
Перевагою даного проекту є вибір мінімальної кількості параметрів для контролю і регулювання, підбір нових, економічних, сучасних, взаємозамінних, простих в налагодженні і експлуатації технічних засобів автоматизації.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Нохратян К.А. Сушка и обжиг в промышленности строительной керамики. М.: Стройиздат, 1962. - 167 с.
2. Марсов В.И., Славущий В.А. Автоматическое управление технологическими процессами на предприятиях строительной индустрии: Л., Стройиздат, Ленинг. отд-ние, 1975. - 287 с.
3. Р.А.Козлович, С.Н.Сердобинцев. Автоматическая система управления туннельной сушилкой кирпичного завода// [http://www.klgiu.ru/ru\\_magazine\\_2008\\_13/26.doc](http://www.klgiu.ru/ru_magazine_2008_13/26.doc).
4. Глухов В.Н. Автоматическое регулирование процессов термообработки и сушки строительных изделий. — Л., Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1982. -88 с., ил.
5. Застосування експертної системи для керування процесом випалювання керамічної цегли Остапенко Ю.О.. Ярощук І.В. Автоматизація виробничих процесів.- 2001. -№2(13). - С.35-40.
6. Использование нечеткой логики в системах автоматического управления Анисимов Д.Н. Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. - 2001. - №8. - С.39-42.
7. Бутусов Н.В. Автоматические контрольно-измерительные и регулирующие приборы. – М. Гостехиздат, 1983. – 245с.
8. Зараев В.И., Устюшенкова О.Ю., Хрусталеv Б.С. Частотно-регулируемый электропривод – современный путь к совершенствованию установок с компрессорами, 2005г.
9. Методичні вказівки з оформлення графічної частини конструкторської документації проектів автоматизації. Структурні, функціональні та принципові схеми / укладач О.Ю. Журавльов. – Суми: Вид-во СумДУ, 2006. – 48с.

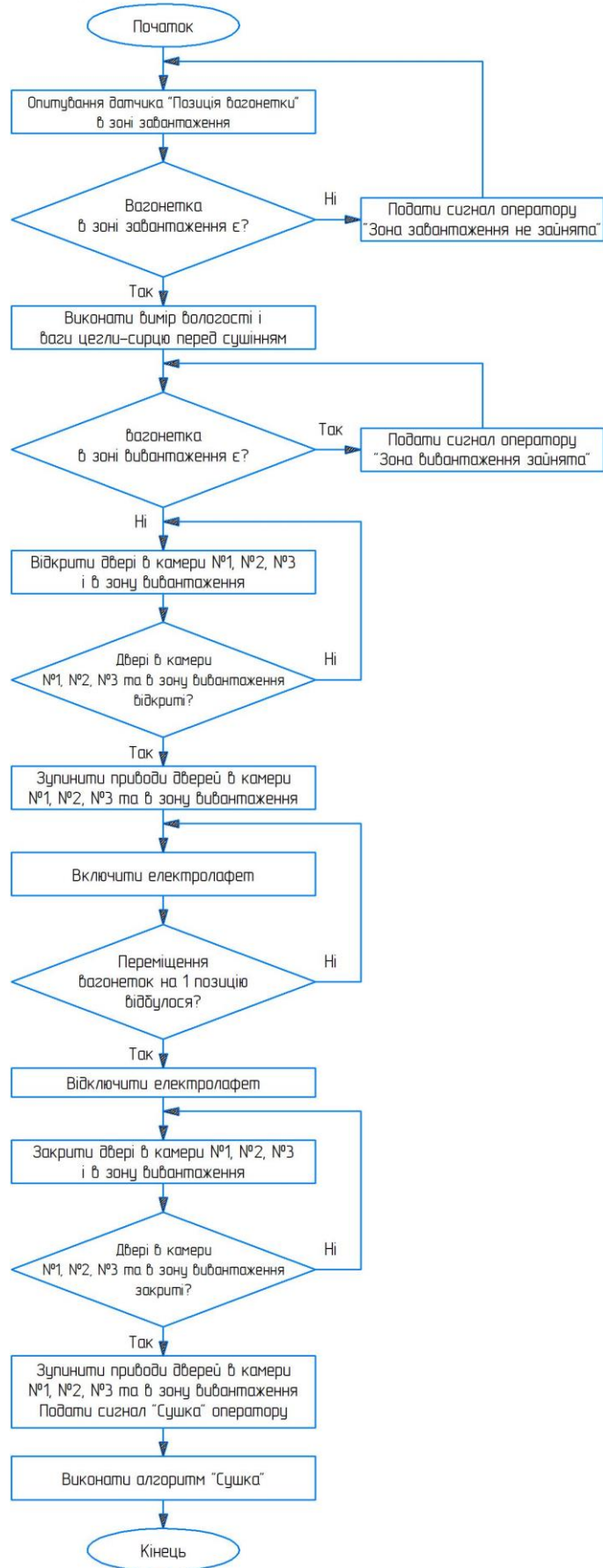
# ДОДАТОК А

## Алгоритм підготовки до праці



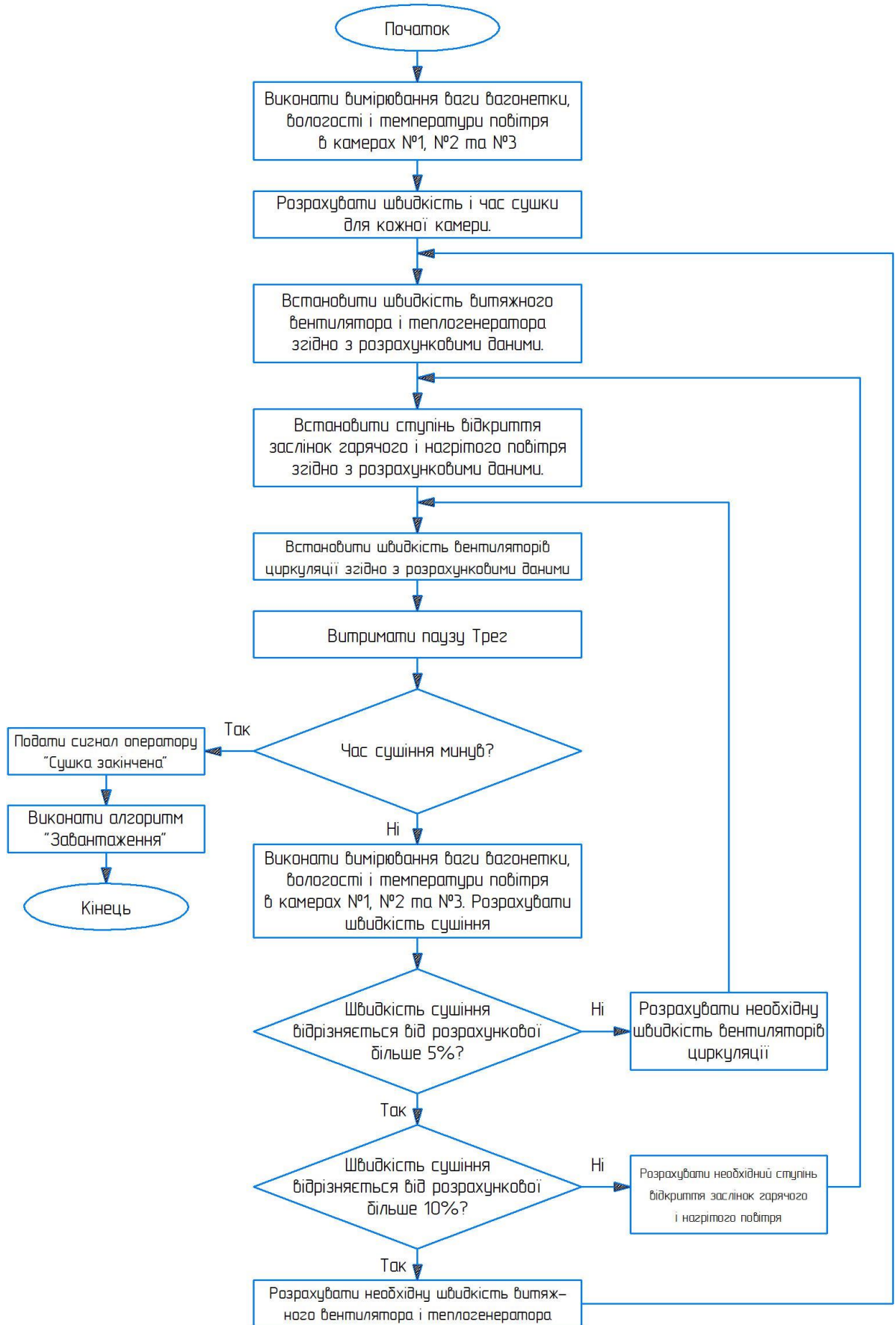
# ДОДАТОК Б

## Алгоритм "Завантаження"



# ДОДАТОК В

## Алгоритм "Сушка"



# ДОДАТОК Г

## Алгоритм "Розвантаження"

