

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва та транспорту

Кафедра «Автоматизації виробничих процесів»

“Допущено до захисту”

Зав. кафедрою АВП

к.т.н., доцент

_____ О.К. Дідик
« ____ » _____ 2022 р.

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА за ступенем вищої освіти «Магістр»

на тему:

**«Дослідження процесу регулювання тиску пари у
випарному апараті при виробництві цукру»
«Study of the steam pressure regulation process in the
evaporation apparatus during sugar production»**

Виконав студент VI курсу групи АК-21М
спеціальності 151 «Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології»

_____ В.В. Ярмоленко
« ____ » _____ 2022 р.

Керівник роботи

доц, канд.техн.наук

_____ Д.В. Трушаков
« ____ » _____ 2022 р.

Рецензент _____

« ____ » _____ 2022 р.

ЗМІСТ

Вступ.....	5
1 Область застосування та призначення системи керування тиском у випарному апараті	7
1.1 Стан цукрової промисловості в країні.....	7
1.2 Опис процесу виробництва цукру на цукровому заводі.....	7
1.2.1 Приймання цукрового буряка.....	9
1.2.2 Доставка буряка на завод, відділення домішок.....	9
1.2.3 Мийка та зважування буряка.....	9
1.2.4 Подрібнення буряка в стружку.....	10
1.2.5 Отримання дифузійного соку.....	10
1.2.6 Очищення дифузійного соку.....	11
1.2.7 Згущення соку до сиропу.....	13
1.2.8 Уварювання сиропу та відтіків до утфелів, отримання кристалічного цукру.....	14
1.2.9 Центрифугування утфеля, відбілювання та сушка цукру.....	15
1.2.10 Пакування.....	15
1.2.11 Зберігання.....	16
1.3 Опис технологічної схеми.....	19
1.4 Значимість процесу випарювання.....	21
1.5 Опис процесу випарювання.....	23
2 Огляд обладнання технологічного процесу випарювання соку.....	29
2.1 Загальні відомості про апарати для випарювання соку.....	29
2.2 Конструкції випарних апаратів.....	31
2.2.1 Однокорпусні випарні установки.....	31
2.2.2 Багатокорпусні випарні установки.....	32
2.3 Огляд засобів автоматизації випарювання соку.....	37
2.4 Фактори, що суттєво впливають на роботу випарної установки.....	41

2.5 Вимоги до системи автоматичного керування тиском у випарному апараті	42
3 Опис та обґрунтування обраних проектних рішень системи регулювання тиску у випарному апараті.....	44
3.1 Аналіз засобів автоматизації цукрового виробництва.....	44
3.2 Обґрунтування багаторазового використання пари при випарюванні соку.....	50
3.3 Згущення соку у випарному апараті.....	52
3.4 Узагальнена схема автоматизації технології випарювання сиропу.....	55
3.5 Розробка структурної схеми системи керування тиском у випарному апараті випарної станції.....	58
3.5.1 Рівняння елементів системи	58
3.5.2 Вимоги до синтезованої САР.....	59
3.5.3 Будова, принцип регулювання та принцип дії САР.....	59
3.5.4 Функціональна схема САР тиску випарної станції.....	60
3.5.5 Структурна схема САР тиску випарної станції.....	61
3.5.6 Визначення передаточних функцій розімкнутої, замкнутої системи та характеристичного рівняння.....	63
3.6 Розробка схем електричних принципових реалізації системи керування тиском у випарному апараті випарної станції.....	64
4 Розрахунки та експериментальні матеріали, що підтверджують працездатність виробу.....	68
4.1 Опис методики проведення експерименту для визначення передаточної функції об'єкта.....	68
4.2 Визначення стійкості системи і запасів стійкості. Побудова області стійкості.....	76
4.2.1 Дослідження системи на стійкість та визначення області стійкості за методом D-розбиття в площині одного параметра.....	76

4.2.2 Дослідження системи на стійкість та визначення запасів стійкості за модулем і фазою за допомогою частотного критерію Найквіста-Михайлова.....	78
4.2.3 Побудова ЛАЧХ розімкнутої системи.....	80
4.2.4 Побудова ЛФЧХ розімкнутої системи.....	81
4.3 Оцінка якості регулювання замкнутої САР по ЛАЧХ розімкнутої системи.....	82
4.4 Оцінка якості вихідної системи.....	83
4.4.1 Побудова перехідного процесу замкнутої системи.....	83
4.4.2 Визначення прямих показників якості САР. Визначення часу регулювання системи як вимоги до САР для її аналізу та синтезу.....	84
4.5 Побудова бажаної ЛАЧХ розімкнутої оптимальної за швидкодією системи по вимогам, які пред'явлені до неї.....	85
4.6 Синтез коректуючого пристрою САР за логарифмічними частотними характеристиками.....	87
4.7 Побудова кривої перехідного процесу синтезованої САР.....	89
5 Опис організації робіт, пов'язаних із застосуванням системи керування тиском у випарному апараті випарної станції.....	91
5.1 Монтаж системи керування тиском у випарному апараті випарної станції.....	91
5.2 Налагоджування системи керування тиском у випарному апараті випарної станції.....	93
5.3 Експлуатація системи керування тиском у випарному апараті випарної станції.....	93
Висновки.....	117
Перелік скорочень, символів та спеціальних термінів.....	119
Список літератури.....	120
Додатки.....	91

ВСТУП

Цукрова промисловість України – одна з колись потужних промисловостей. Оскільки цукровий буряк - основна сировинна база вітчизняних цукрових заводів, то конкурентоспроможність і ефективність виробництва буряків в Україні -це один з найважливіших елементів у проблемі підтримки і збереження цукрового маркетингового ланцюжка.

Підхід до цієї галузі господарства змінився у кінці XX століття, і це негативно вплинуло на стан виробництва цукру в країні.

Становище галузі сьогодні залишається складним. Скоротилася кількість господарств, що сіють буряки. Зросла кількість дрібнотоварних підприємств. Зменшились площі під цукровими буряками. Органічні й мінеральні добрива, засоби захисту рослин недостатньо застосовуються. Внесення мінеральних добрив лише 20 – 30 % від потреби, мало вносяться оргдобрива (4 – 7 т на 1 га, а необхідно 50 – 70 т). Довело до такого стану, перетворення країни з потужної бурякоцукрової держави на імпортера цукру.

Рішення проблем і виведення даної галузі промисловості з кризи можливе лише при вирішенні в комплексі всіх проблем, що стосуються цукрової промисловості, виключно на державному рівні. В даній роботі пропонується варіант рішення задачі автоматизації техпроцесу випарювання сиропу при виробництві цукру, що стане поштовхом на шляху до автоматизації виробництва цукру в цілому.

Отже, можна зробити висновок, що представлена тема випускної кваліфікаційної роботи актуальна. Розробка і дослідження системи автоматичного керування випарюванням дозволить інтенсифікувати цей процес і поліпшити загалом якість кінцевого продукту. Використання сучасних мікропроцесорних засобів при обробці технологічної інформації та вироблення сигналу керування полегшить вирішення поставлених завдань. Отож, необхідно

розробити функціональну, електричну структурну і принципову схеми системи, перевірити її стійкість та визначити прямі показники якості.

Об'єктом дослідження виступає процес випарювання вологи із сиропу в технологічному процесі цукрового виробництва.

Предметом дослідження є система керування тиском у апараті випарювання в процесі виробництва цукру.

В даній роботі основну увагу приділено стабілізації технологічного параметра, тому необхідно розглянути значимість підтримування цього параметра, підходи до реалізації в подібних системах, вибрати найкращий. Необхідно спроектувати функціональну та структурну схеми даної системи, визначити її прямі показники якості, побудувавши для цього перехідний процес, провести, у випадку невідповідності заданим значенням, синтез коректуючого пристрою.

Також слід розглянути питання охорони праці та техніки безпеки при роботі на досліджуваному обладнанні.

1 ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ТА ПРИЗНАЧЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТИСКОМ У ВИПАРНОМУ АПАРАТІ

1.1 Стан цукрової промисловості і країні

Попри високі показники виробництва в радянські часи (тоді Україна була найбільшим виробником буряку та цукру), перехід до ринкової економіки був серйозним викликом для виробництва бурякового цукру. З втратою ринків на теренах СРСР та обмеженої конкурентоспроможності з початку перехідного етапу виробництво цукрового буряку зменшилося більш ніж на дві третини.

Але спад цей був не постійний. Після низького врожаю 2000-го року сектор покращив свої показники, але досі немає чітких висхідних тенденцій. Тим не менш, хоч і повільне, але скорочення посівних площ та збільшення врожайності свідчить про позитивні структурні зрушення в даній галузі. Необхідно відзначити, що врожайність - це проста середня оцінка, яка не відображає всю змінність показників, що характеризують врожайність між виробниками в секторі. Чітко просліджується і спад посівних площ, і не досить стабільний збір врожаю буряку. На ці фактори суттєво впливає дуже багато чинників, зокрема погодні умови, нерівномірне внесення добрив, зношення земель, зношення обладнання, до того ж не проводиться селекція по “вдосконаленню” якості коренеплодів та багато інших.

1.2 Технологічна схема одержання цукру-піску

Технологія одержання цукру-піску включає наступні операції: очищення коренеплодів від домішок, нарізання стружки буряку, відтиск соку дифузійного, очищення соку дифузійного (спочатку дефекація, потім сатурація, нарешті сульфитація та фільтрація), випарювання бурячного соку, очищення та уварювання цукрового сиропу, кристалізація утфелю, центрифугування та пробілювання, остання операція - це сушіння цукру-піску.

Хімічний склад цукрового буряка наведено на рисунку 1.1.

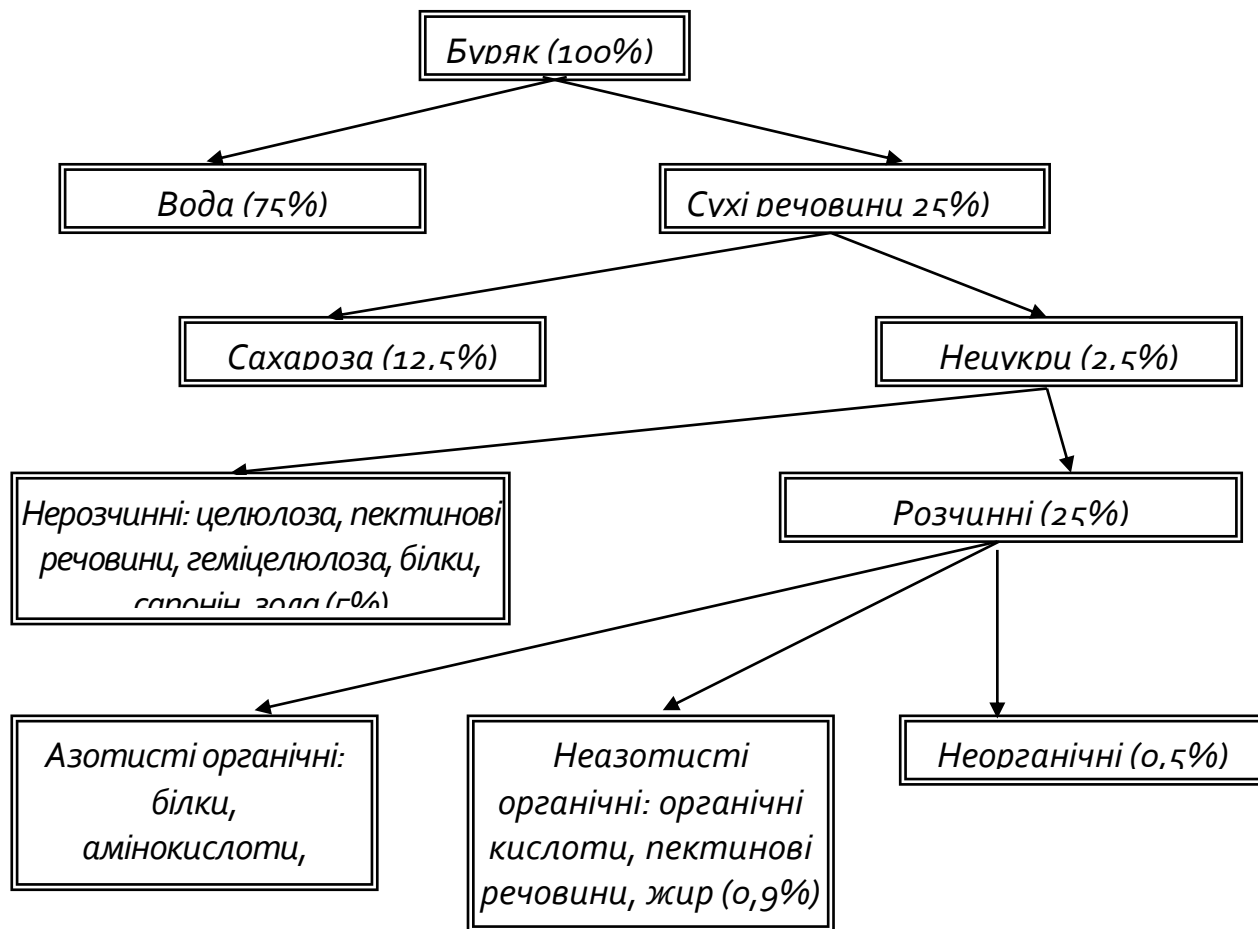


Рисунок 1.1 – Хімічний склад цукрового буряка

1.3 Опис технологічної схеми

Для забезпечення безперебійної роботи та створення кількох добових запасів буряку завод має бурячний склад, який розташована поруч з ним. Сучасні заводи, які виробляють цукровий пісок і цукор рафінад, це потужні підприємства, які переробляють за добу тисячі тон буряку. Вони мають високу ступінь механізації, і майже всі операції автоматизовані. Проте можна відзначити і надзвичайну моральну та фізичну застарість засобів автоматизації, що на цих заводах використовуються.

Узагальнена технологічна схема виробництва цукрового піску наведена на рис. 1.2. Машинно-апаратна схема лінії виробництва цукрового піску наведена на першому листі графічного матеріалу.

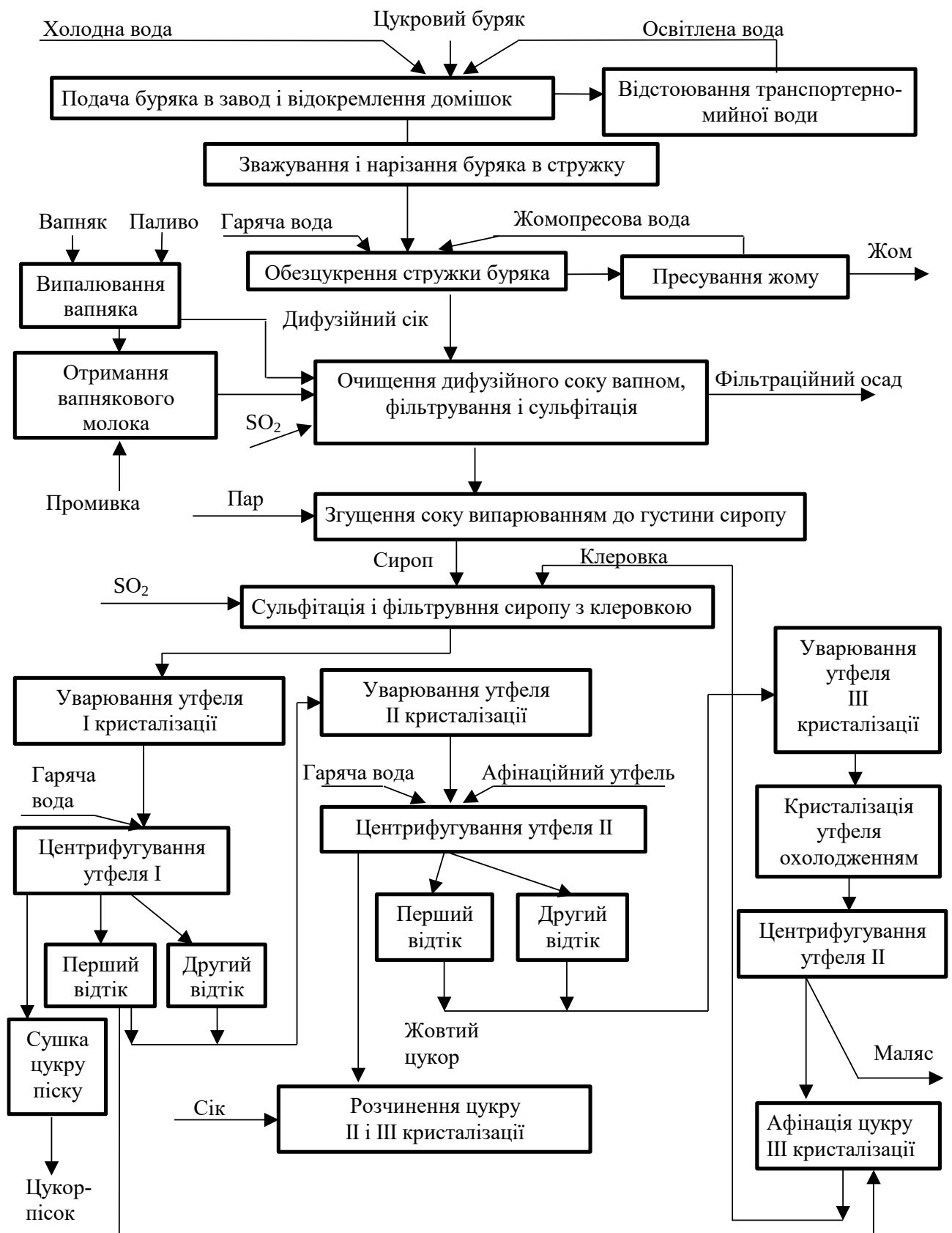


Рисунок - 1.1 Технологічна схема цукрового виробництва

Цукровий буряк надходить в завод по гідротранспортеру на станцію очистки, яка складається з вловлювачів легких домішок та вловлювачів важких домішок. Виловлені домішки виводяться за допомогою транспортера з відділення доочистки буряків.

Мийно-транспортерна вода сепарується на ротаційному водовідділювачі і надходить на механічну решітку, де реалізується процес відділення механічних домішок. Далі вода направляєється на мішалку води 2-ї категорії, уламки ж буряків та гичка видаляються. Далі буряк подається в обполіскувач, де відділяються важкі та легкі домішки. Легкі домішки виводяться за межі обполіскувача за допомогою транспортера сітчастого, а важкі – продувним пристроєм. З обполіскувача буряк транспортувальним пристроєм переміщується в мийку типу Ш1-ПМД-2, яка конструктивно складається з 2-х частин. У першій її частині буряк рухається без води, а в другу частину надходить чиста вода. Далі з мийки буряк надходить у другий обполіскувач, де додатково очищається від важких та легких домішок. З обполіскувача далі буряк транспортувальним пристроєм подається до бурякового елеватора, потім стрічковим конвеєром подається до бункера для буряків. Над стрічковим конвеєром розташований магніт для видалення металевих домішок.

Із бункера буряки надходять в бурякорізку, де вони перерізаються у перетворюються на бурякову стружку. Бурякова стружка зважується стрічковими вагами і подається в дифузійний апарат А1-ПД2-С20, де застосовується протитечієвий спосіб висолодження. Цукроза і розчинні нецукри переходять у так звану сульфітовану воду.

Далі дифузійний сік проходить через мезговловлювачі ПР-52М для зменшення вмісту в ньому мезги. Висолоджена стружка системою транспортерів подається на жомові преси ПСЖН-68. Віджатий жом транспортується до жомової ями. Дифузійний сік подається в прогресивний дефекатор типу РЗ-ППДЗ, тут він обробляється в умовах поступового підвищення лужності. Такі умови створюються у відповідних зонах апарату за рахунок повернення бурякового соку першої сатурації та утвореного вапнякового молока. Потім сік

самопливом надходить на холодну ступінь дефекації (дефекатор ШІ-ПДХ-3,0). Тут же в сік попередньої дефекації додається молоко вапнякове. Дефекований сік через підігрівачі подається до гарячого дефекатора ОД-2,0. Самопливом сік поступає на першу ступінь сатурації, тут він обробляється вуглекислим газом, який отримують в газовій печі. Після описаної першої сатурації сік через підігрівач надходить на фільтрацію, яка проводиться на спеціальних фільтрах ФІЛС-60. Відділений осад далі висолоджується на вакуум-фільтрах типу БОУ-40-3-10. Осад з фільтрів гідравлічно виводиться на поля продуктів фільтрації. Фільтрат з вакуум-фільтрів підмішується до нефільтрованого соку першої сатурації.

Далі фільтрований сік першої сатурації подається на вхід дефекатора разом з заданою кількістю молока вапнякового. Потім сік через підігрівач подається на вхід секції другої сатурації, де обробляється вуглекислим газом. Після проведених двох стадій фільтрації (фільтри ФІЛС-60, ДФ-100 та ДФ-150) сік підігрівається і подається на вхід випарної станції.

Одержаний сироп разом з клеровкою цукру жовтого другого продукту сульфитується, потім підігрівається, фільтрується, а далі подається на уварювання утфелю першого готового продукту.

Уварювання утфелів ведеться за трьохпродуктовою схемою у вакуум-апаратах Ж4-ПВА. Зварений утфель першого продукту надходить в мішалку, потім подається на вхід утфелерозподільника та центрифугується з отриманням вже білого цукру, зеленої та білої патоки. Біла патока використовується для попереднього уварювання утфеля першого продукту на підкачки. Білий цукор транспортується до сушильного відділення. Для висушування цукру використовують сушильні барабани системи Фальцмана. Висушений цукор надходить на входи бункерів, з яких в пакувальному відділенні його далі зважують та запаковують у мішки. Далі через підземну галерею мішки цукру транспортуються в цукрові склади.

А ось утфель другого продукту уварюється на так званій кристалічній основі патокою зеленою першого продукту. Випускається у мішалку, далі через

утфелерозподільник, подається на центрифуги типу ФПИ-1321К-01. Одержаний при центрифугуванні цукор жовтий клерують фільтрувальним соком другої сатурації далі направляють на сульфитацію, а патока зелена другого продукту використовується для уварювання утвореного утфелю третього продукту.

Уварювання цього утфелю до проби ведуть зеленою патокою раніше отриманого другого продукту та білою патокою отриманого першого продукту (за наказом лабораторії). Утфель третього продукту виливають в мішалку, де він знаходиться 20-30 годин для кристалізації цукрози під час охолодження та перемішування. Потім утфель центрифугують на центрифугах типу ФПИ-1321К-01. Жовтий цукор другого продукту підмішується із соком другої сатурації, при цьому утворюється кристалічна основа для уварювання утфелю другого продукту. Меляс, що утворився при центрифугуванні, зважується та викачується в так званий паточний чан.

Для багаторазового використання утвореного тепла на випарній установці слід забезпечити такі умови, при яких температура кипіння соку знижуватиметься по ходу від першого до останнього корпусу. А кожний корпус випарної установки - це самостійна ступінь випарювання.

1.4 Значимість процесу випарювання

Отриманий після очистки дифузійний сік вміщує 12-15 % сухих речовин. Аби виділити цукрозу із ненасиченого розчину, його необхідно згустити - видалити зайву воду і отримати так званий перенасичений розчин цукрози.

Аби вести процес випарювання найбільш ефективно, дифузійний очищений сік попередньо нагрівають в спеціальній апаратурі теплообмінній, використовуючи в якості теплоносія пару водяну. На сучасних цукрових заводах сік звичайно нагрівають в трубчастих підігрівачах – багатоходових і одноходових. Циркулюючий в дифузійній батареї сік підігрівається в одноходових трубчастих підігрівачах – калоризаторах.

Підігрівач багатогодовий, як і одноходовий, складається із корпусу, знизу і зверху закритого спеціальними кришками. Які шарнірно з'єднані з корпусом та відкидаються вгору і вниз при здійсненні відкривання. В середині корпусу знаходяться верхня та нижня трубні решітки. Простір між такими трубними решітками і кришками розділений з допомогою перегородки на окремі ходи. Кількість ходів у підігрівачах парна. Перегородки декілька раз змінюють свій напрям руху соку, що практично дозволяє соку послідовно проходити всі труби. А швидкість соку в підігрівачах складає 1,0-1,5 м/с, а це підвищує коефіцієнт теплопередачі в порівнянні із підігрівачем в одноходовому підігрівачі.

Сік до підігрівача подається через двоклапанну розподільну коробку. У випадку, коли обидва клапани цієї коробки, що управляються одним шпинделем, відкриті, сік надходить в коробку з однієї сторони, та коли пройде всі ходи підігрівача, витікає з іншої. Коли ж клапани закриті, то сік не потрапляє до підігрівача, а проходить через коробку. Далі в непарних ходах рухається сік знизу-вгору, а у парних – рухається зверху-вниз.

Багатогодові підігрівачі обладнують часто автоматичними регуляторами температури продукту вихідного. У верхній і нижній кришках містяться краники. Верхні краники слугують для випуску повітря при наповненні підігрівача соком, нижні – для кінцевого спускання соку із підігрівача.

Для регулювання роботи підігрівачів їх облаштовують засобами автоматизації. В процесі регулювання температури у підігрівачах в якості чутливих датчиків застосовують термометри опору, а також манометричні термометри. Для запобігання перегріву продукту при припиненні потоку чутливий елемент автоматичного терморегулятора встановлюють безпосередньо в теплообміннику саме перед виходом продукту у коробку вентильну. У випадку виходу із ладу чи ремонту регулятора передбачена запасна лінія із запорним паровим вентилем. В якості температурних регуляторів використовуються електронні мости або пристрої так званих агрегатних систем, які впливають на клапани, змінюючи подачу пари на підігрівач.

1.5 Опис процесу випарювання

Очищений сульфітований сік температурою 85°C в кількості 125 % від маси буряка із вмістом цукру 16 % і сухих речовин 17,5 % нагрівається в трьох групах підігрівачів та надходить на вхід випарної станції. Температура соку на виході з підігрівача першої групи 105°C (обігрів паром соковою II корпусу випарної станції), далі, другої групи 115°C (обігрів паром соковою I корпусу), третьої групи 126°C (обігрів паром ретурною). На випарній станції із соку випарюється 100 % води і отримується 27 % сиропу з вмістом сухих речовин 65%. Сік являє собою ненасичений розчин цукрози та нецукрів. Якщо сік згустити до перенасичення так званої цукрози, то її можна виділити шляхом кристалізації. Загусання соку йде в два етапи: сік згущується у випарній установці, а далі - у вакуум-апаратах.

Розділення процесу згущення соку випарюванням на два етапи визначається тим, що на першому етапі в'язкість соку не велика і можна проводити згущення в багатокорпусних випарних установках, що обладнані теплообмінною поверхнею. А це ж дає можливість знизити питомі витрати пари, що гріється, в 2,5 рази і відбирати частину вторинної пари на технологічні потреби.

Далі на другому етапі, коли згущається сироп, проводиться однократне випарювання у спеціальних вакуум-апаратах, і коли настає перенасичення, тоді частина цукрози викристалізовується, утворюючи так звану суміш кристалів цукрози і міжкристальної рідини, що називається утфелем. Всього з очищеного соку випарюється 110-115 % води від маси буряка.

Сік згущають у випарних апаратах, що мають поверхню теплообміну трубчасту за будовою, яка обігрівается паром насиченою з температурою більш високою, ніж власне сік, що кипить, тому теплота пари через всю поверхню нагріву передається соку. При кипінні бурякового соку утворюється вторинна пара, а пара, що гріється, конденсується. Проходить обмін теплотою: пара, що гріється, віддає приховану теплоту пароутворення потім зникає у вигляді

конденсата, а вода з соку, яка отримала цю теплоту, далі виводиться у вигляді вторинної пари.

Потім сік поступає в корпус I, що обігрівается відпрацьованою у турбогенераторі парою. Саме тут з соку випарюється частина води і потім утворюється вторинна пара. Згущений сік подається на взід в II корпус, де з нього випарюється ще певна частина води, так до останнього корпусу або концентратора, звідкіля виходить вже сироп. Частина вторинної пари, що утворилася в I корпусі, направляється на обігрів корпусу II, вторинна ж пара із II корпусу – на обігрів корпусу III, із III – на обігрів IV.

Рух соку та вторинних парів здійснюється в результаті зменшення рівня тиску від першого до останнього корпусу, що підтримується за допомогою вакуум-насоса, а також барометричного конденсатора.

Конденсат з камер, що гріються, випарних апаратів виводиться прямо в конденсатні колонки. Конденсатор не обігрівается парою вторинною, в ньому в результаті перепаду тиску проходить так зване самовипарювання.

Сік, який випарюється, надходить під нижню трубну решітку випарного апарату та далі частково заповнює кип'ятильні труби камери, що гріється. При кипінні, об'єм соку збільшується, і потім він заповнює труби кип'ятильні повністю і виливається над самою верхньою трубною решіткою, далі пара накопичується в надсоковому просторі корпусу, сік циркуляційною трубою спускається донизу. Частина згущеного соку разом з свіжим знову поступає у труби кип'ятильні, частина ж виводиться у наступний випарний апарат.

Слід відмітити, що природна циркуляція соку відбувається внаслідок різниці густини стовпа паросокової суміші всередині кип'ятильних труб і стовпа соку в циркуляційній трубі. При цьому густина паросокової суміші менша густини соку та залежить від вмісту пари в ній.

Рівень соку у кип'ятильних трубах має серйозне значення для нормальної роботи випарних апаратів та підтримується на такому рівні, аби верхня трубна решітка тільки омивалася киплячим соком. Оптимальний рівень соку в апаратах чотирьохкорпусної випарної установки, що містять концентрат повинен бути: в I

корпусі – 30-35 %, в II корпусі – 35-40 %; в III корпусі – 40-45 %; в IV корпусі – 45-50 %; в концентраторі – 50-55 %.

При зменшенні рівня соку верхня частина поверхні нагріву не омивається ним, що призводить до зниження продуктивності апаратів та до пригорання сиропу на стінках. А ось якщо рівень соку в трубах перевищує оптимальний, тоді знижується інтенсивність теплопередачі та погіршується циркуляція соку, до того ж можливе перекидання продукту в гріючу камеру вже наступного корпусу.

При дотриманні оптимального рівня соку в трубах кип'ятильних чотирьохкорпусної випарної установки із концентратом середній час перебування соку в корпусах 65-80 хв. Випарні апарати працюють цілодобово, в них безперервно поступає сік на загусання та з них безперервно відводиться згущений сік.

Для забезпечення контролю і регулювання режиму роботи звичайно випарний апарат оснащений термометром та запобіжним клапаном. Корпус IV установки оснащений також ще й мановакуумметрами. Для зниження витрати тепла зовнішню поверхню апаратів покривають шаром теплоізоляційного матеріалу.

Цукровий розчин при випарюванні неперервно подається в камеру далі рухається вгору по трубах, де він нагрівається і кипить. Парорідинна емульсія, що утворилася при нагріванні, надходить в циліндричну надставку і далі розділяється на два потоки соку: частина через кільцеву щілину переливається на сито, створює плівку та живить труби периферійного пучка, а інша частина проходить через сепаруючий пристрій, де отримана пара відділяється від соку.

Далі сік стікає по поверхні стічного конуса до зовнішніх стінок ємності. Звідки він, проходячи під циліндричною обичайкою і переливаючись через кільце, потрапляє на сита. Розчин, що випарюється, у вигляді плівки стікає по внутрішній поверхні труб, далі збирається у нижній конічній частині ємності, звідси відводиться в наступний ступінь випарної установки.

Отже, в даній роботі розглядається схема чотирьохкорпусної випарної установки із концентратором.

Перед згущенням сік сульфітований нагрівається під тиском в багатоходових теплообмінниках аж до температури кипіння (126°C) і направляється в корпус I випарної установки, де з нього випаровується частка води, утворюючи при цьому вторинну пару. З корпусу I сік послідовно проходить корпуси II, III і IV та концентратор К, загусаючи до певної густини.

Пара, відпрацьована в турбогенераторі, подається тільки в парову камеру корпусу I, наступні ж корпуси обігріваються парою вторинною попереднього корпусу, що звільнюється в сепараторі від крапель сока. Концентратор не обігрівається парою, проте в ньому проходить тільки самовипарювання води саме за рахунок перепаду тиску, при надлишку вторинної пари в корпусі IV, з яких-небудь причин не використано на технологічні потреби, передбачена її подача в гріючу камеру концентратора. Певна частина вторинної пари з корпусу I може повертатися в парозбірник за допомогою теплового насоса.

Використання багаторазово теплоти пари у випарній установці можливе за умови, що температура кипіння соку, а значить, і тиск в корпусах знижуватимуться від першого і аж до останнього корпусу. Для створення такої різниці тиску концентратор з'єднується з вакуумно-конденсаційною установкою. В результаті конденсації пари вторинної в конденсаторах змішення створюється так званий остаточний тиск $0,017\text{--}0,021$ МПа, що гарантує кипіння соку в корпусах і власне в концентраторі.

Корисна різниця температур для корпусів I та III приймається не менше 6°C , а для наступних корпусів – $10\text{--}12^{\circ}\text{C}$. Збільшення корисної різниці температур в об'ємі останніх корпусів викликано необхідністю забезпечення підвищення коефіцієнта теплопередачі при підвищенні густини згущаючого соку.

У випарних апаратах із природною циркуляцією для унеможливлення інтенсивного розпаду цукрози обмежують температуру кипіння соку в I корпусі на рівні $126\text{--}128^{\circ}\text{C}$, при цьому температура кипіння соку в останньому корпусі має бути обмежена технічно досягнутим тиском в вакуумно-конденсаційній установці і не може бути нижче ніж 60°C . Загальна різниця температур між корпусом I і останніми корпусами складає 68°C .

Джерелом пари гріючої для корпусу I випарної установки і інших потреб є теплоелектроцентрально.

Конденсат, що утворився у випарних апаратах і у інших теплообмінниках перешкоджає доступу пари власне до поверхні нагріву, а саме тому за допомогою конденсатовідводів її відводять систематично у збірники.

В якості конденсатовідводів зазвичай застосовують гідравлічні колонки із зовнішнім циркуляційним контуром, що встановлюються по одній на кожному корпусі випарної станції. Принцип їх роботи полягає у створенні гідрозатвору у вигляді водяного стовпа певної висоти. Це дозволяє відводити неперервно конденсат із парових камер, не допускаючи прориву пари у збірник конденсатних вод. Стовп конденсата в гідравлічній колонці компенсує різницю тиску до та після неї. Гідравлічна колона обладнана термометром, манометром та водомірним склом.

Таблиця 1.2 – Тепловий режим випарної станції

Параметри	Корпуси випарної станції				Концен- тратор
	I	II	III	IV	
Температура гріючої пари, °C	132	124,5	115	101	84
Абсолютний тиск гріючої пари, кгс/см ²	2,92	2,33	1,72	1,07	0,57
Корисна різниця температур, °C	6	7,5	10,5	12	15,6
Температура кипіння соку, °C	126	117	104,5	89	68,4
Температурна депресія, °C	0,5	1	2,5	4	3,4
Температура сокової пари, °C	125,5	116	102	85	65
Абсолютний тиск сокової пари, кгс/см ²	2,41	1,78	1,11	0,59	0,255
Температура конденсату, °C	130	122,5	113	99	82
Втрати температури в трубопроводах, °C	1	1	1	1	1
Витрати пари на теплоспоживачі (з урахуванням самовипарювання конденсату), % до маси буряку	21,81	7,15	16,67	0,47	-
Рівень соку (сиропу), % від загальної довжини труб	30-35	35-40	40-45	45-50	50-55

З парових камер випарних апаратів, з теплообмінників, з вакуум-апаратів, з конденсаційних колонок відводяться неперервно неконденсуючі гази (це двооксид вуглецю, аміак і т.д.), які містяться у вторинних парах. Присутність вказаних газів в парі, яка гріється, знижує тепловіддачу при конденсації, оскільки вони перешкоджають притоку пари до теплообмінної поверхні, які накопичуються у верхній частині парових камер.

Слід відмітити, що неконденсуючі гази виводяться з верхньої частини парових камер трубами в надсоковий простір із тиском пари на ступінь нижче, ніж тиск пари, що гріється, тобто із парової камери корпусу номер I в парову камеру корпусу II, із парової камери корпусу II в парову камеру корпусу III і т.д. до конденсатора змішування. При наведених умовах пара, що відводиться з газами не втрачається безкорисно.

Тепловий режим випарної станції наведено в табл. 1.2.

Отже, розглянуто область застосування та призначення системи керування тиском у випарному апараті при виробництві цукру в процесі випарювання сиропу, зокрема окреслено розвиток цукрової галузі, досліджена історія розвитку цукрової промисловості в Україні , її стан. Здійснено опис процесу виробництва цукру на цукровому заводі, розглянуті етапи виробництва від надходження буряку на склад до пакування готового продукту. Розглянута технологічна схема на прикладі ЗАТ “Новомиргород цукор”. Акцент зроблено на технологічному процесі випарювання, з’ясована його значимість, що дало можливість сформулювати напрямок досліджень.

2 ОГЛЯД ОБЛАДНАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИПАРЮВАННЯ СОКУ

2.1 Загальні відомості про апарати для випарювання соку

Очищений сік II сатурації має бути згущений до концентрації сиропу. Вміст сухих речовин в ньому при цьому збільшується з 14 – 16 % аж до 65 – 70 %. Згущення соку здійснюється у випарних установках, які дозволяють витратити на згущення 40 – 50 % пари до маси буряку за рахунок використання тепла багаторазово.

Випарні установки, що застосовується на цукрових заводах, класифікують за наступними ознаками:

- 1) за станом вторинної пари в останньому корпусі:
 - установки, що працюють під тиском пари вище атмосферного;
 - установки, що працюють при тиску пари нижче атмосферного.
- 2) за кількістю корпусів поділяються на:
 - трьохкорпусні установки із концентратором;
 - чотирьохкорпусні установки із концентратором;
 - чотирьохкорпусні установки із нульовим корпусом;
 - п'ятикорпусні установки.

На цукровому заводі в якості типової використовують чотирьохкорпусну випарну станцію з концентратором.

До випарних установок пред'являють такі вимоги:

- забезпечення випарювання при максимальній кількості тепла, що передається через поверхню нагріву апаратів випарної установки, а ось для цього необхідно проводити випарювання при забезпеченні допустимих значень корисної різниці температур, певній масовій напрузі поверхні нагріву та термічному опоріві;

- випарювання розчину в установках здійснювати до встановленої концентрації;

- розчин в корпус I випарної установки повинен надходити із температурою кипіння 126°C;

- забезпечення надійного видалення з окремих корпусів випарної установки газів аміачних і конденсату пари;

- відбір екстрапари з окремих корпусів має забезпечувати підігрів проміжних продуктів виробництва до необхідних температур.

Незалежно від конструкції, до випарних апаратів пред'являють наступні вимоги:

- мінімальні температурні втрати;
- максимальна інтенсивність теплообміну;
- простота конструкції, зручність експлуатації і ремонту;
- мінімальна витрата (питома) металу на одиницю поверхні нагріву;
- повне видалення газів аміачних, що знижують коефіцієнт теплопередачі з боку конденсуючої пари;

- неперервне, надійне видалення конденсату, що утворюється в паровій камері;

- можливість в одному апараті розміщення великої поверхні нагріву;
- нормальний розподіл в міжтрубному просторі парової камери гріючої пари;

- можливість, за необхідності, забезпечити чистку поверхні нагріву, без припинення роботи випарної установки;

- надійне уловлювання крапель продукту, що виносяться вторинною парою.

Сироп, отриманий після згущення соку, надходить на уварювання - додаткове випарювання води. При цьому отримується утфель. Процес ведеться у вакуумних-апаратах періодичної та неперервної дії.

2.2 Конструкції випарних апаратів

2.2.1 Однокорпусні випарні установки

Однокорпусна випарна установка містить лише один випарний апарат (один корпус). Принципова схема такого випарного апарату, що діє безперервно, з природною циркуляцією розчину на прикладі агрегата з внутрішньою центральною циркуляційною трубою представлена на рис. 2.1.

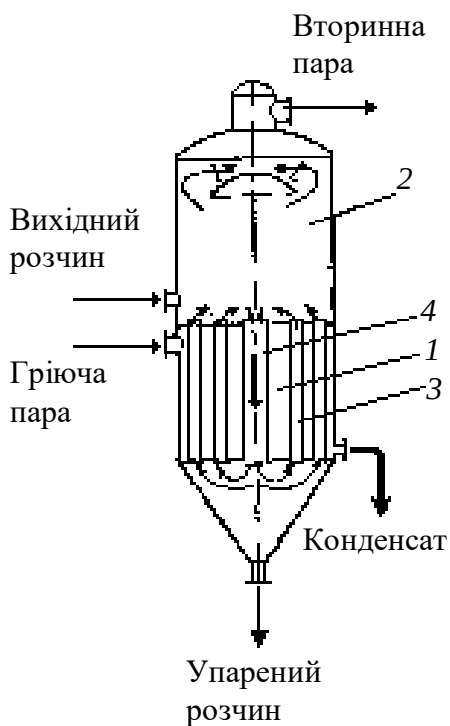


Рисунок 2.1 – Схема улаштування однокорпусного випарного апарата

Апарат складається з теплообмінника – нагрівальної камери 1 та сепаратора 2. Камера та сепаратор можуть бути об'єднані конструктивно в одному апараті (рис. 2.1) або може бути камера винесена та з'єднана з сепаратором трубами. Камера обігрівается водяною насиченою парою, що надходить в її міжтрубний простір. Знизу камери відводять конденсат.

Піднімаючись трубами 3, випаровуваний розчин нагрівається та закипає з утворенням вторинної пари. Розділення пари і рідини відбувається в сепараторі 2. Звільнена від крапель і бризок вторинна пара видаляється із верхньої частини сепаратора.

Частина рідини опускається циркуляційною трубою 2 під нижні трубні грати камери, що гріє. Унаслідок різниці щільності розчину в трубі 4 та парорідинної емульсії в трубах 3, рідина циркулює всередині замкнутого контуру. Упарений розчин видаляється через штуцер, розташований в днищі апарату.

Коли випарювання проводиться під вакуумом, тоді вторинна пара відсисається в конденсатор пари, який сполучений з вакуумом. Упарений розчин видаляється з конічного днища апарату.

2.2.2 Багатокорпусні випарні установки

У сучасних випарних установках випаровуються великі кількості води. Наприклад, у однокорпусному апараті на випаровування 1 кг води необхідно 1 кг гріючої пари. Це призвело б до надто великих її витрат. Однак витрати пари на випаровування можна понизити, якщо проводити процеси в багатокорпусній установці випарювання. Принцип дії її зводиться до використання тепла гріючої пари багатократного, що поступає в перший корпус установки, обігрівом кожного подальшого корпусу (крім першого) вторинною парою із попереднього корпусу.

Схема багатокорпусної установки вакуум-випарювання, яка працює при прямоточному русі гріючої пари та розчину, показана на рис. 2.2. Така установка складається з кількох корпусів. Початковий розчин, заздалегідь нагрітий до температури кипіння, надходить на вхід першого корпусу, що обігрівается первинною (свіжою) парою. Вторинна ж пара з цього корпусу надходить в якості гріючої в корпус II, де унаслідок зниженого тиску розчин кипить вже при нижчій температурі, ніж в першому.

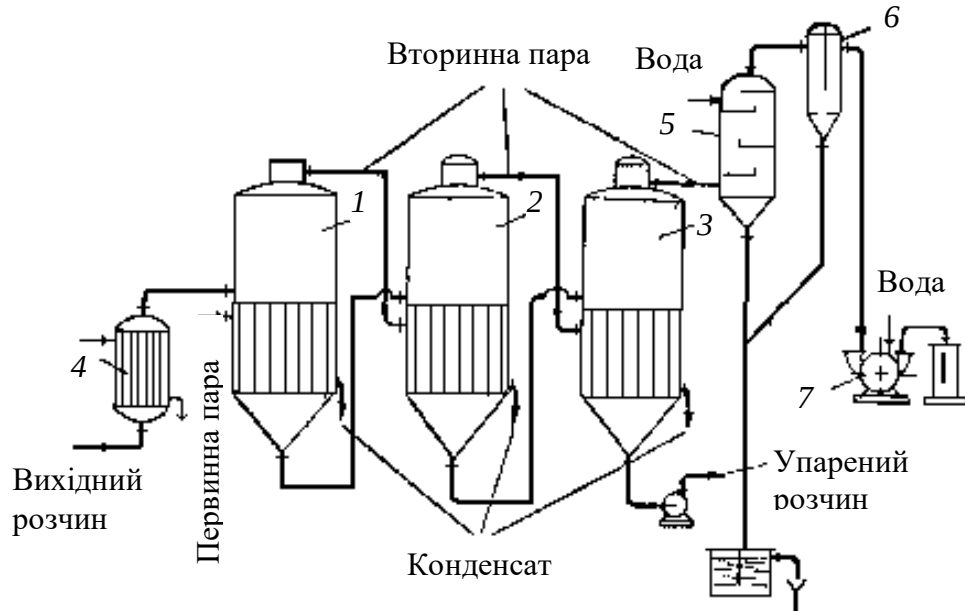


Рисунок 2.2 – Багатокорпусна прямоточна вакуум-випарна установка

Зважаючи на нижчий тиск в корпусі II розчин, упарений в корпусі I, переміщається самопливом в корпус II і тут охолоджується до температури кипіння його вже в цьому корпусі. За рахунок тепла, яке виділяється при цьому,

утворюється додаткова кількість вторинної пари. Таке явище, яке відбувається в усіх корпусах установки, окрім першого зветься самовипарюванням розчину.

Аналогічно упарений розчин з корпусу II перетікає самопливом в корпус II, який обігрівается вторинною парою з корпусу II.

Попередній нагрів початкового розчину до температури кипіння в корпусі I проводиться в окремому підігрівачі 4, а це дозволяє уникнути збільшення поверхні нагріву в корпусі I.

Вторинна пара з останнього корпусу (корпусу III в даному випадку) відводиться в барометричний конденсатор 5, де при конденсації пари створюється потрібне розрідження. Повітря і гази (що не конденсуються), які потрапляють в установку з парою і з оходжуючою водою, а також через нещільності трубопроводів при різкому погіршенні теплопередачі, відсисаються через бризковловлювачі 6 з допомогою вакуум-насосу 7.

Вакуум-насосом підтримується також стійкий вакуум, адже залишковий тиск в конденсаторі може змінюватися із коливанням температури води, яка надходить в конденсатор.

Для передачі тепла в кожному корпусі необхідною умовою має бути наявність деякої корисної різниці в температурах, яка визначається різницею температур пари гріючої і киплячого розчину. Разом з відміченим раніше, тиск вторинної пари в кожному попередньому корпусі має бути більше тиску в наступному корпусі. Ці різниці тиску створюються при надмірному тиску в корпусі I, або вакуумі в останньому корпусі, або при тому і іншому одночасно.

Використовувані схеми багатокорпусних випарних установок розрізняються за тиском вторинної пари в останньому корпусі. У відповідності до цієї ознаки установки діляться на ті, які працюють під розрідженням і ті, які працюють під надмірним тиском.

Найбільшого поширення набули випарні установки першої групи. Окрім установки, наведеної на рис. 2.2, на практиці застосовують установки подібного типу, що за рахунок використання тепла пари низького потенціалу володіють

підвищеною економічністю. Так, іноді обігрів корпусу I проводять відпрацьованою парою з парових турбін, що є в даному випадку первинною парою.

Дросельована так звана свіжа пара додається для підтримки стабільного режиму роботи установки при коливаннях навантаження турбіни.

В установках, які працюють під деяким надмірним тиском пари вторинної в останньому корпусі, ця пара використовується на сторонні потреби - як екстрапара. Разом з тим підвищення тиску вторинної пари всередині останнього корпусу зменшує можливу кратність використання первинно (їсвіжої) пари, яка гріє корпус I.

При роботі під надмірним тиском необхідна дещо більша товщина стінок апаратів, проте установка в цілому спрощується, адже відпадає необхідність в наявності конденсатора пари, що постійно діє (при цьому невеликий конденсатор використовують період пуску установки).

В установках випарювання під тиском важче підтримувати сталий режим роботи, чим в установках під вакуумом, для цього потрібне автоматичне регулювання тиску пари, а також щільності упареного розчину. Для забезпечення підвищення стійкості режиму роботи установок, що працюють під тиском використовують схеми різних типів.

Вибір тиску пари вторинної в останньому корпусі апарата залежить від співвідношення між кількістю тепла, що може віддати цю пару, та кількістю тепла пари низького потенціалу, яку використовують на інші виробничі потреби. Оптимальний тиск пари вторинної в останньому корпусі можна встановити в конкретному випадку шляхом проведення техніко-економічного розрахунку.

Багатокорпусні випарні апарати розрізняються також за взаємним напрямом руху гріючої пари та випарюваного розчину. Крім найбільш поширених установок з прямоточним рухом пари та розчину (рис. 2.2), використовуються також протиточні випарні установки, в котрих гріюча пара та

випарюваний розчин переміщаються із корпусу в корпус у взаємно протилежних напрямках (рис. 2.3).

Початковий розчин подається за допомогою насоса в останній по ходу гріючої пари корпус, з якого упарений розчин перекачується в корпус II, і так далі, причому з корпусу I видаляється остаточно упарений розчин. Первинна пара надходить в корпус I, а вторинна пара з цього корпусу йде для обігріву корпусу II, потім вторинну пару з попереднього корпусу використовують для обігріву наступного. З останнього корпусу пара вторинна видаляється в конденсатор.

У корпусі I випарної проточної установки (рис. 2.2) мало концентрований розчин отримує необхідне тепло для випаровування від гріючої пари більш високих робочих параметрів, а вже в останньому корпусі найбільш концентрований (найбільш в'язкий) розчин випаровується за допомогою пари вторинної найбільш низьких параметрів. Тобто від корпусу I до останнього (по ходу розчину) відбувається підвищення концентрації і знижується температура випарюваного розчину, а це призводить до зростання його в'язкості. Коефіцієнти теплопередачі, в результаті, зменшуються від корпусу I до останнього.

У багатокорпусних протиточних установках (приведені рис. 2.3) в корпусі I найконцентрованіший розчин випарюється за рахунок тепла пари більш

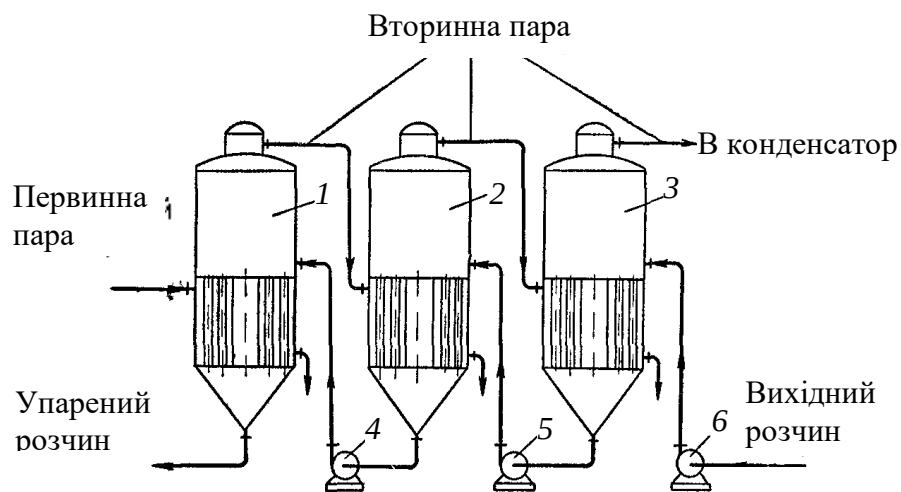


Рисунок 2.3 – Багатокорпусна протиточна випарна установка

високих параметрів, тоді як вже в останньому корпусі початковий розчин найбільш низької концентрації отримує, тепло від паривторинної, що має найбільш низький тиск та температуру. Саме тому при протитечії коефіцієнти теплопередачі менше змінюються по корпусах, ніж при прямотку.

Проте необхідність перекачувати випарований розчин з корпусів, де тиск менший, до корпусів з вищим тиском є серйозним недоліком вказаної протиточної схеми, оскільки використання проміжних циркуляційних насосів (це насоси 4 та 5 на рис. 2.3) пов'язане з зростанням експлуатаційних витрат.

Розглядувані протиточні випарні установки застосовують при випаровуванні розчинів до високих кінцевих концентрацій, вже коли в останньому (по ходу розчину) корпусі можливе небажане випадання твердих речовин. Крім того, за такою схемою випаровують розчини, в'язкість яких зростає різко із збільшенням концентрації розчину.

По схемі з паралельним живленням корпусів (наведено на рис. 2.4) початковий розчин одночасно надходить у всі три корпуси установки випарювання. Упарений розчин, який видаляється з усіх корпусів, має однакову кінцеву концентрацію. Апарати такої схеми використовують при випаровуванні насичених розчинів, в яких містяться частинки випавшої твердої фази (що ускладнює переміщення випарованого розчину з корпусу до корпусу), а також використовують в тих процесах випарювання, де не потрібне значне підвищення концентрації розчину.

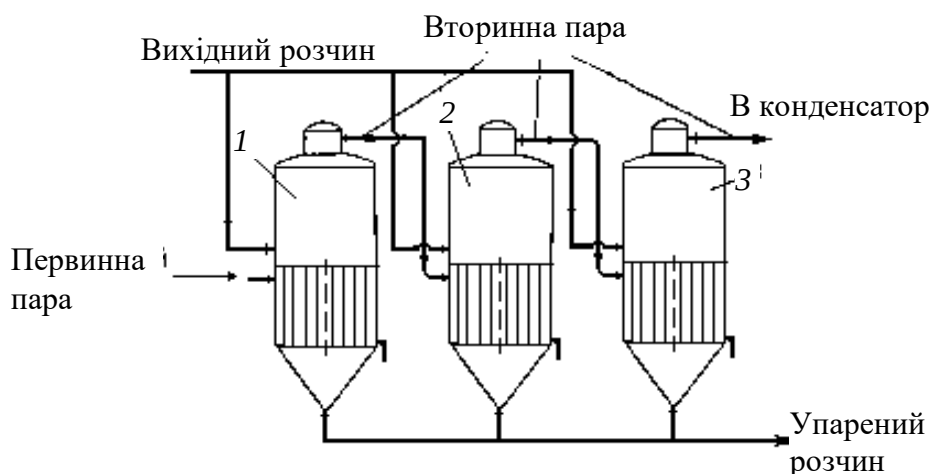


Рисунок 2.4 – Багатокорпусна випарна установка з паралельним живленням корпусів

2.3 Огляд засобів автоматизації випарювання соку

Якість роботи установки випарної визначається правильністю вибору схеми структурної її автоматизації.

Регулювання тиску над соком у просторі корпусу I здійснюється шляхом впливу на регулюючий орган, який встановлений на трубопроводі подачі ретурної пари на вхід в корпус I, або безпосередньо на редукційний клапан редукційної охолоджуючої установки (РОУ). В іншому випадку виключається регулюючий орган безпосередньо перед корпусом I, завдяки чому ліквідуються втрати теплові і втрати тиску пари на ньому, однак при цьому якість регулювання гірше, ніж в першому випадку.

Такий стан пояснюється значною ємністю об'єкту регулювання внаслідок значного віддалення РОУ від випарної установки та збільшенням в системі запізнення. Крім того, в цьому випадку регулюється лише частина пари, так як продуктивність РОУ складає близько 15-20 % загальної потреби установки. При глибших збуреннях до системи управління турбіною та клапану скиду пари пред'являються підвищені вимоги.

Регулювання розрідження у випарній установці здійснюють по розрідженню в концентраторі шляхом перепускання пари вторинної на конденсаторну установку. Якщо обладнана випарна установка окремим барометричним конденсатором, який знаходиться поблизу концентратора, тоді управління здійснюється зміною подачі води на конденсатор за розрідженням на конденсаторі або за температурою барометричної води. Всі наведені системи забезпечують якісне регулювання, проте системі управління за розрідженням надається перевага, так як вакуумметр – це менш інерційний датчик, ніж термометр. На цукрових заводах, де установка випарна обладнана окремим конденсатором, розрідження часто підтримують за температурою води та отримують інформацію про стан води, що поступає на підігрівачі для дифузії.

Є багато варіантів регулювання рівнів по корпусам установки випарної. До найбільш розповсюджених варіантів відносять регулювання рівня на притоку із блокуванням на стік, також регулювання на стоці з блокуванням на притоці. Проте в момент блокування різко переривається соковий потік, а це призводить до підвищення коефіцієнту нерівномірності сокового потоку в межах установок. Такий недолік усувається в системах так званого плавного впливу на стік та притік соку в апарати.

За каналом регулювання густини випарні установки характеризуються запізненням 40 хв., в зв'язку з цим для їх стабілізації використовують комбіновані системи управління, які розраховують регулювання за навантаженням і за відхиленням. Регулювання за навантаженням здійснюється системою стабілізації теплової продуктивності корпусу I, при врахуванні впливу на об'єкт при витраті соку і при відборі пари вторинної шляхом подачі гріючої пари в простір над соком. Включення концентратора в режим активного корпусу дає можливість змінити густину сиропу у вузьких межах.

Доведення густини до заданої величини, здійснюється двоканалною системою, що працює за відхиленням від заданого значення. Якщо концентрація сухих речовин стане нижче 65 %, тоді перший канал системи збільшить подачу пари в концентратор, а якщо вище 65 % – тоді подача пари в концентратор зупиняється, другий канал системи подає на розрідження сиропу сульфітований сік. Стабілізація густини розчину на установці здійснюється також збільшенням часу знаходження продукту в апаратах, а це викликає ріст його кольору і інтенсивне розкладання цукру.

Також системою автоматичного регулювання теплової продуктивності корпусу I, забезпечується отриманням парів вторинних постійного потенціалу для забезпечення живлення тепловикористовуючої апаратури заводу дотриманням співвідношення “витрата соку – витрата конденсату”. Останнє являється непрямим показником витрати пари на випарювання соку. За результатом порівняння цих величин здійснюється подача пари ретурної в

надсоковий простір корпусу I, чим компенсується зменшення отримання пари вторинної при зниженні витрати соку та стабілізується робота тепловикористовуючої апаратури підприємства.

Ефективність подачі пари в простір над соком корпусів значно підвищується шляхом термокомпресії пари вторинної корпусу II або корпусу I в умовах перевипарювання соку. Для стабілізації продуктивності по теплу корпусу I використовують термокомпресори постійної продуктивності, що відключаються дискретно за тиском пари в збірнику перед установкою випарною.

При автоматизації теплової системи з так званим “голодним” режимом роботи, додаткова подача частини пари вторинної попереднього корпусу в простір над соком наступного корпусу, здійснюється за тиском в ньому або також за витратою конденсату впливом на регулюючий орган, встановлений на паропроводі між корпусами. подача води аміачної на установку випарну здійснюється за перепадом тиску у гріючій і та у соковій камерах корпусу I або ж по рівню соку в корпусі I і в збірнику перед установкою випарною.

Конденсатне господарство установки випарної автоматизується в залежності від технологічного обладнання. На цукрових заводах використовується автоматизоване конденсатне господарство з застосуванням регуляторів РУБ і регулюючих клапанів 25ч30нж, що управляються через панелі дистанційного управління типу БПДУ-А. Із збірників конденсата пари ретурної і вторинної пари корпусу I конденсат надходить у випарники, звідти перекачується насосом в ТЕЦ. При цьому в збірниках і випарниках заданий рівень підтримується ідентичними контурами регулювання. У збірниках конденсата пари вторинної корпусів II, III і IV випарної установки встановлюється по одному регулятору типу РУБ. Між збірниками та після насоса подачі конденсата в аміачний ящик зазвичай розміщуються регулюючі клапани. Коли відбувається досягнення рівня в будь-якому збірнику вище заданого значення конденсат перепускається на наступний, потім і на аміачний ящик.

Видалення неконденсуючих газів із системи і розрідження в останньому корпусі і концентраторі здійснюється за допомогою двохступеневої вакуумної конденсаційної установки, що складається із передконденсатора, основного (головного) конденсатора, краплеловушки, збирача барометричної води і вакуумного насоса. Полочний конденсатор змішування - це вертикальний циліндричний апарат із горизонтальними полицями. Знизу в нього подається пара вторинна, а зверху – холодна вода. Переливаючись з полиці на іншу полицю вода каскадами стікає вниз падаючи назустріч парі. При контакті з водою пара звичайно конденсується, створюючи в апараті достатньо сильне розрідження, так як кілограм пари займає об'єм, більший приблизно в 1600 разів, ніж кілограм конденсату. В краплеловушці неконденсуючі гази звільняються від крапель рідини і неперервно відсмоктуються вакуумним насосом.

Суміш конденсату і охолодженої води, зветься барометричною водою, вертикальною трубою стікає в збірник. В трубі води підтримується рівень на висоті, відповідній величини вакуумметричного тиску у конденсаторі (це 0,017...0,020 МПа). Через відкритий нижній кінець труби зайва барометрична вода стікає в збірник. Труба, що використовується для відводу барометричної води виконує роль гідравлічного затвору, її висота повинна бути не менше ніж 10,5 м, щоб перешкодити потраплянню повітря в конденсатор та створити відповідну швидкість витікання води з нього.

Пару вторинну з концентратора установки випарної подають спочатку в передконденсатор, в якому через нестачу холодної води пара не повністю конденсується і нагрівається, охолоджуючи воду для технологічних потреб, до 50...60°C. Неконденсована пара з передконденсатора поступає в основний конденсатор, тут вже конденсується повністю, нагріваючи воду до приблизно 40...45°C.

На цукрових заводах використовують одну ВКУ, куди крім вторинної пари з концентратора установки випарної виводять утфельну пару з вакуумних апаратів утфеля І кристалізації, кінцева пара з передконденсатора

і утфельна пара із вакуумних апаратів утфеля останньої (II) кристалізації – виводять до основного конденсатора. Сумарне розрідження, створене в подібній установці (0,029...0,026 МПа - залишковий тиск), недостатнє для нормального проведення техпроцесів, оскільки воно вище необхідного тиску – 0,018 МПа. При надходженні утфеля рідких сиропів на уварювання навантаження на ВКУ збільшується, а це призводить до зниження у вакуумних апаратах і у випарній установці.

Низький тиск (близько 0,029...0,026 МПа), що створений в вакуумній системі каскадними протипотоковими конденсаторами поличного типу, пояснюється тим, що конденсація пари відбувається на перших трьох полицях конденсатора, інші ж полиці створюють лиш додатковий гідравлічний опір. При переводі ВКУ з концентраторами поличного типу на охолодження за допомогою зворотної води температурою на вході 30...35°C, ще більше знижується її ефективність роботи.

Тому в складі ВКУ цукрових заводів розповсюджені комбіновані так звані прямоточно-протivotочні конденсатори, що володіють високою продуктивністю за конденсуючою парою і низьким гідравлічним опором. Технічні параметри цих конденсаторів дають можливість знизити тиск в системі до 0,0105 МПа. Це, в свою чергу, дозволить мати замість декількох ВКУ на заводі один прямоточно-протivotочний конденсатор та два вакуумні насоси ВВН-50.

2.4 Фактори, що суттєво впливають на роботу випарної установки

На роботу випарної установки та попит відпрацьованої пари суттєво впливають цукристість бурякової стружки, її доброякісність, відбір дифузійного соку та концентрація сухих речовин в сиропі.

Вплив цукристості стружки проявляється наступним чином. При збільшенні вмісту цукрози в стружці та при незмінному відборі соку

дифузійного в результаті підвищення густини соку відбувається зменшення кількості води, яка випарюється, зростатимуть витрати пари вторинної на зварювання утфелей, оскільки сиропу стає більше. Підвищується також витрата відпрацьованої пари на випарну установку, це – 0,63 кг/100 кг буряка на 1с. При зниженні ж цукристості стружки відбувається зворотній процес та виникає необхідність у перерозподіл споживачам пари вторинної.

Відбір дифузійного соку впливає також на роботу випарної установки вже наступним чином. При зберіганні сталої концентрації сиропу зі збільшенням відбору дифузійного соку відбувається збільшення споживання відпрацьованої пари установки і більше утворюється пари вторинної також і конденсату.

Концентрація сухих речовин сиропу на роботу установки впливає наступним чином. При зберіганні цукристості стружки і при відборі дифузійного соку постійне зменшення концентрації сухих речовин в сиропі приводить до збільшення витрат пари вторинної на зварювання утфелей, оскільки замість багатоступінчастого випарювання часткна води випаровується в одну ступінь.

Витрату гріючої пари у випарній установці знизити можна, лише тоді, коли поліпшити умови роботи установки, а також якщо використати жовтий цукор для підвищення концентрації сиропу та зварювання утфеля на кристалічній основі і без заводки кристалів. В такому випадку включається надходження очищеного соку до продуктового відділення, до того ж весь він підлягає багатоступінчастому випарюванню.

Доброякісність сиропу на роботу установки впливає наступним чином. При незмінному виробництві заводу і вмісті цукрози в стружці знижується доброякісність соку, що призводить до підвищення навантаження на II і III ступенях кристалізації, це обумовлено зростанням нецукрів.

2.5 Вимоги до системи автоматичного керування тиском у випарному апараті

Ефективність системи автоматичного регулювання у кожному конкретному випадку характеризується ступенем задоволення поставлених до неї вимог. Найбільш важливою вимогою є забезпечення функціональної залежності між вхідним сигналами та сигналами на виході системи. При розробці системи зазвичай прагнуть знайти розумний компроміс між забезпеченням високої якості роботи та простотою технічної реалізації системи автоматичного регулювання. Вимоги до САР різні та визначаються багатьма різними факторами. Звичайно ставлять наступні вимоги:

- до величини помилки в усталеному режимі (статичної точності);
- до запасу стійкості;
- до динамічної точності при діях, що неперервно змінюються;
- до поведінки системи в перехідному процесі при певних діях.

Розглянемо вимоги до системи автоматичного регулювання тиску у випарному апараті станції цукрового заводу, що підлягає розробці в даній роботі:

- максимальне перерегулювання не повинно перевищувати 25 %;
- заземлення устаткування;
- в процесі синтезу розробити систему, оптимальну за швидкодією
- запас стійкості за модулем забезпечити не менше 15 дБ, за фазою не менше 30°.

Отже, в даному розділі здійснено загальний огляд обладнання задіяного в процесі випарювання соку буряку, а саме, розглянуто відомості про апарати випарювання соку буряку, їх конструкції, здійснено огляд підходів при автоматизації процесу випарювання та окреслені фактори, які суттєво впливають на роботу випарної станції. Все це дає можливість поставити вимоги до системи

автоматичного регулювання тиску випарної станції цукрового заводу, здійснити аналіз шляхів автоматизації даного процесу. Також з викладеного вище випливає, що нині на цукрових заводах використовуються засоби автоматизації, однак можна відмітити можливість їх модернізації застосуванням існуючих на ринку більш прогресивних засобів вимірювання та обробки технологічних параметрів. Окрім того, для обробки вимірної технологічної інформації, для забезпечення можливості зміни за потреби налаштування роботи керуючого обладнання слід використовувати засоби мікропроцесорної техніки, що на даний час знаходять широке застосування, проте на цукрових заводах застосовуються не часто.

Для розробки системи автоматичного регулювання тиску слід здійснити вибір датчика технологічного параметра, вибрати мікроконтролер, розробити структурну схему системи, дослідити її стійкість та визначити прямі показники якості.

3 ОПИС ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ОБРАНИХ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ТИСКУ У ВИПАРНОМУ АПАРАТІ

3.1 Аналіз засобів автоматизації цукрового виробництва

Техпроцес цукрового виробництва є неперервно-поточним та здійснюється на неперервно діючому обладнанні, а значить задовольняє основним вимогам з точки зору автоматизації. Проте впровадженню автоматизації передує велика та трудомістка робота, яка пов'язана з капітальними витратами. Іноді технологічне обладнання цукрового заводу майже неможливо автоматизувати, хоча воно і досить просте по конструкції та не коштовне. Подібне обладнання слід замінювати на більш удосконалене, хоча і більш дороге, так як автоматизація дозволяє покращити ефективність і якість технологічного процесу.

Велике значення при підготовці технологічної ділянки або об'єкта до автоматизації рН-метрів дозволяє здійснювати управління і контроль процесами очистки соку на сиропу від дифузійного відділення і аж до до вакуум-апаратів по величині рН.

Під час вибору засобів контролю техпараметрів цукрового виробництва враховують також можливість їх роботи в різних та при різних режимах. Слід відмітити, що спеціалізовані середовища цукрового виробництва звужує коло використовуваних загально доступних промислових пристроїв, тому необхідна розробка спеціальних контрольно-вимірювальних приладів.

Випарна станція (ВС) займає чільне місце в загальній тепловій і технологічній схемах цукрового заводу. Крім основного свого призначення – випарювання соку буряку, до заданого вмісту сухих речовин при забезпеченні певної продуктивності цукрового заводу, вона також забезпечує вторинними соковими парами апаратуру теплообміну заводу, постачає котельню

конденсатом для забезпечення живлення парових котлів, а завод – водою аміачною для технологічних потреб.

Для випарювання соку застосовують багатокорпусні випарні установки, що дозволяють багаторазово послідовно використовувати пару, що поступає в корпус I. На ВС сік концентрується з близько 15-16 % до 65-70 % сухих речовин (при густині 1,32 г/см³) і перетворюється в сироп, що піддається подальшій обробці у вакуумних апаратах.

При роботі ВС сік направляється в корпус I і послідовно переходить із корпусу попереднього в наступний корпус. Свіжа пара поступає тільки в корпус I. Другий корпус обігрівается соковою парою корпусу I, відповідно, корпус III – парою соку корпусу II і т.д. Для використання багаторазово гріючої пари, що поступає в корпус I, в наступних корпусах температура знижується завдяки збитковому залишковому тиску в надсоковому просторі агрегатів. Рівномірність потоку соку досягається установкою буферного збірника, що розрахований на 15-хвилинний запас соку. В ньому рівень соку підтримується регулятором РУЦ. При переповненні збірника він перекриває надходження соку, а при відсутності соку або при зниженні його рівня в збірнику нижче допустимої межі відкривається спеціальний вентиль подачі в збірник аміачної води. Це здійснюється для запобігання оголення поверхні нагріву випарних агрегатів. В решоферах нагрів соку до температури кипіння забезпечує регулятор ЕМД-232. Оптимальний рівень соку в корпусах випарної станції підтримують регулятори рівня ДМ-6 із вторинним пристроєм типу ЕПД-03. Так як процес випарювання є неперервним, а кількість соку, який надходить і відбір сокової пари з випарного апарата змінюється в часі, то підтримування оптимального режиму роботи випарної станції можливе лише при автоматичному управлінні процесом випарювання. Оптимальним режим вважається , який забезпечує задану продуктивність випарної станції при стабілізації рівня соку в корпусах апаратів, що гарантує найкращі умови теплообміну, а також і безперервне постачання споживачів парою необхідного потенціалу.

Схему автоматизації випарної станції будують за дворівневою структурою, при якій на нижньому рівні використовують локальні системи автоматизації, а на верхньому – система централізованого контролю та управління на базі КОК - керуючого обчислювального комплексу. Значна частина локальних систем полягає у взаємодії з КОК і представляє інформацію для вирішення задач централізованого контролю виробництвом і розрахунку ТЕЦ. Остання частина ЛСА працює самостійно, вирішуючи задачі сигналізації відхилень і стабілізації техпараметрів.

Сік температурою 86°C нагрівається в підігрівачах і при досягненні температури 126°C надходить в корпус I ВС. Туди подається ретурна пара під тиском 0,29 МПа і температурою 136°C.

Система автоматизації повинна забезпечувати стабілізацію тиску пари корпусів I і II; стабілізацію розрідження в корпусі IV; забезпечувати стабілізацію рівнів соку у випарних апаратах; забезпечувати подачу ам'ячної води у збірник соку перед випарною станцією при спаді рівня в корпусі I; забезпечувати зміну температури в корпусах I – IV ВС; забезпечувати контроль тиску пари і перепаду тиску пари між паровою камерою і надсоковим простором корпусу I; вимірювання густини сиропу, що відкачується на подальшу переробку; забезпечувати контроль витрат соку, що поступає в переробку, і сиропу, що відкачується із випарної станції.

Тиск сокової пари корпусу I стабілізується за жорсткою програмою. При відкладенні накипу на поверхні нагріву випарного агрегату задане значення тиску підвищують періодично в цілях збереження необхідної продуктивності випарної станції. Контур стабілізації включає пневматичний перетворювач тиску. Підтримується тиск шляхом регулювання надходження пари ретурної в парову камеру корпусу I ВС.

Розрідження в корпусі IV підтримується перетворювачем різниці тиску і регулятором.

Стабілізація ж рівня у випарному апараті (ВА) забезпечує кращі умови для теплопередачі, підвищуючи продуктивність ВС. Робота вузла регулювання рівнів реалізується по принципу повздовжньої стабілізації. Збурення, що виникло в будь-якій зоні системи, передається послідовно на корпус І ВС. Якщо кількості соку, що поступив на ВС, недостатньо для відновлення мінімальних допустимих рівнів у апаратах, системою передбачено подачу води аміачної в збірник соку перед випарною станцією. Будь-який контур регулювання виконаний з використанням комплекту пневматичного позиціонера та буйкового рівнеміру.

Аміачну воду в збірник соку перед станцією подають при оголенні поверхні обігріву апарату. Параметром, що найбільш точно фіксує початок режиму перед аварією, є різниця тиску між гріючим та соковим парами корпусу І. При оголенні поверхні нагріву між парою до киплячої рідини зменшується різко, тиск гріючої пари збільшується, а пари сокової падає. Це приводить до збільшення перепаду тиску. Зростання перепаду тиску відповідає збільшенню навантаження агрегату, що і служить сигналом для ввімкнення подачі води в сокову камеру апарату.

В досліджуваному вузлі при зниженні рівня соку в збірнику до найменшого значення сигнал датчика замикає контакт пневмоелектричного перетворювача. Якщо при такому рівні в корпусі І сигнал від датчика нормальний, тоді ніяких змін в ланцюгу не виникне. При мінімально можливому значенні рівня в корпусі І замикається ще один контакт перетворювача. Для забезпечення контролю тиску ретурної пари передбачено пневматичний перетворювач тиску, сигнал від якого надходить на самопишучий трьохшкальний вторинний пристрій. При цьому перепад тиску вимірюється комплектом вторинного пристрою і перетворювача. При збільшенні перепаду тиску в корпусі І замикається третій контакт перетворювача, а це служить сигналом для включення подачі аміачної води. В схему подачі води входять

мембранний сигналізатор, електропневматичний клапан, а також ключ вибору режиму управління.

При цьому контроль температури в корпусах станції здійснюється шеститочковим зрівноваженим мостом, на який поступають сигнали з термоперетворювачів температури, що встановлені на кожному апараті. Густина сиропу, який виходить із станції, являється одним з параметрів, який дозволяє охарактеризувати її роботу загалом. Вимірювання густини забезпечується радіоізотопним густиноміром, що працює в комплекті з вторинним показуючим та самопишучим пристроєм.

Контроль витрат соку, що поступає на переробку, і витрат сиропу здійснюється індукційними витратомірами.

Слід відмітити, що для дотримання оптимального режиму роботи станції повинні бути створені такі умови:

- підтримання оптимального температурного режиму на випарній станції;
- підтримання оптимальних рівнів соку в окремих корпусах, що сприяє отриманню найбільшого коефіцієнту теплопередачі;
- узгодити роботу випарної установки з попередніми та слідуючими станціями заводу і котельнею;
- рівномірне і неперервне постачання установки соком і парою, а також усунення зайвого розрідження соку перед станцією.

Система автоматизації роботи установки повинна гарантувати узгодження оптимального режиму та не допускати нагріву соку буряка вище максимальних допустимої температури (для корпусу I температура кипіння не може бути вище 125-126°C) і забезпечити одержання сиропу заданої густини (це 65 % сухих речовин).

Схемою, що подана в графічній частині, передбачено:

- підтримування заданого тиску сокової пари в корпусі I шляхом автоматичного регулювання надходження пари гріючої в парову камеру цього

корпусу за допомогою регулювання тиску пневматично, шляхом впливу на регулюючий пневмоклапан встановлений на трубопроводі гріючої пари в корпусі I. Це зов'язано з тим, що періодичні відхилення паровідборів у наступних корпусах швидко відбивається на тиску сокової пари корпусу I, а вирівнювання тиску нормально відображається на тиску парів сокових в цих корпусах;

- підтримування рівня соку в кожному апараті регулюванням притоку соку в апарати регуляторами рівня при його підвищенні і припинення стоку соку з апаратів при зниженні рівня до мінімальної допустимої межі. Припинення стоку здійснюється пневмoeлектричними пристроями і трьохходовими соленоїдними клапанами, що керують подачею стисненого повітря до клапанів пневматичних;

- автоматичне включення подачі води аміачної на випарну станцію за різницею тисків, що вимірюється диференціальним манометром та вторинним пристроєм. Останній при підвищенні вказаної різниці через проміжні реле включає клапан соленоїдний, який встановлений на трубопроводі подачі води аміачної в збірник соку;

- підтримання заданого розрідження в концентраторі за допомогою регулятора і поворотної заслінки, яка змінює кількість пари, яка направляється з концентратора в конденсатор;

- регулювання концентрації сиропу та потоку соку на випарюванні єдиною системою, що забезпечує можливість додатково використовувати акумулюючу здатність випарної станції для підвищення концентрації сиропу. Для цієї мети густиномір вимірює густину соку після корпусу III, а рівнемір вимірює рівень соку в збірнику перед станцією, і отриманий сигнал за густиною блокується сигналом за рівнем таким чином, що при низькій густині стікання сиропу з концентратора припиняється, а при підвищеній стікання відновлюється. Якщо ж рівень в збірнику підвищиться до заданої межі, тоді стікання сиропу відкривається незалежно від густини соку в корпусі III. В збірнику соку заданий

рівень встановлюється так, аби при його підвищенні не відбулося спрацювання системи стабілізації потоку соку по заводу.

Для кінцевого коректування густиною сиропу, який надходить із випарної станції на сульфітатор, слугує регулятор п'єзометричного густиноміра. При зниженні густини цей регулятор збільшує ступінь відкриття заслінки поворотної на паропроводі із корпусу IV в парову камеру концентратора; при підвищенні ж густини надходження пари гріючої в парову камеру концентратора припиняється, а відпрацьована пара подається в надсоковий простір корпусу IV регулятором тиску, клапаном соленоїдним і регулюючим клапаном пневматичним, який встановлений на трубопроводі подачі відпрацьованої пари в надсоковий простір корпусу IV. Максимально допустимий тиск в корпусі IV визначається вимогою переходу соку із корпусу III в корпус IV.

Автоматичне регулювання температури соку, що поступає на станцію, здійснюється мостом з термометром зміною подачі пари на підігрівач групи III.

Для дистанційного ручного керування пневматичними регулюючими клапанами передбачено панелі дистанційного управління.

Контроль температури, надходячої на станцію пари здійснюється дистанційно логометром і термометром, витрата пари і соку – діафрагмами, дифманометрами і вторинними пристроями; дистанційний контроль рівня соку в апаратах – індикаторами; контроль витрати конденсату по корпусах – витратомірами з щільною діафрагмою пропорційного зливу. Окрім того, на випарній станції доцільноно автоматично контролювати температуру пари в паровій камері та в надсоковому просторі кожного апарату, кількість води, що подається на станцію, витрата сиропу, також наявність слідів цукру в конденсатах, що направляються в ТЕЦ, також густину соку та інші параметри.

Система регулювання випарної станції комплектується серійними пристроями або системами СТАРТ і МАУС. Застосування системи автоматизації станції забезпечує: підвищення продуктивності підприємства в результаті забезпечення ритмічності роботи випарної станції і збільшення теплової

продуктивності, що звичайно обумовлено стабілізацією температурного режиму та підвищенням коефіцієнтів передачі; постачання споживачів соковими парами стійких параметрів через стабілізацію тиску сокової пари корпусу І; постачання ТЕЦ і технологічних споживачів конденсатами високої якості, що не містять цукру; відсутність втрат цукру, що викликані перекиданням соку разом з соковими парами, через усунення переповнення випарних апаратів соком; зменшення втрат цукру, що викликані його карамелізацією та зниженням наростання кольору соку через своєчасну подачу води; зниження по заводу витрат пари, які досягаються в результаті максимального наближення густини сиропу до заданого значення і зниження виходу пари на конденсатор.

3.2 Обґрунтування багаторазового використання пари при випарюванні соку

Сік випарюють у випарних апаратах, які являють собою трубні теплообмінники, які обігріваються водяною парою з більш високою температурою, ніж сік який кипить, тому тепло пари через поверхню нагріву передається соку. Пара, яка гріється віддає приховану теплоту пароутворення і конденсується у воду. Отримавши теплоту від пари, сік нагрівається до кипіння і при випарюванні утворює вторинну, або сокову, пару. Тут проходить обмін прихованої теплоти пароутворення: гріюча пара віддає свою приховану теплоту пароутворення і видаляється у вигляді конденсатної води, а вода із соку, отримавши цю теплоту, виводиться у вигляді пари.

Прихована теплота пароутворення для гріючої і вторинної пари приблизно однакова, тому 1 кг гріючої пари, яка поступає у випарний апарат, буде випарювати із соку 1 кг води при умові, що сік раніше нагрітий до кипіння. Якщо випарювати сік в одному апараті, то на видалення 98,5 кг води буде витрачено стільки ж гріючої пари і на нагрівання різних проміжних продуктів іще біля 50 кг пари, тобто всього 148,5 кг на 100 кг перероблюваного буряка. При згорянні 1 кг умовного палива з теплотою горіння 29310 кДж отримують 8 кг пари. Відповідно, витрата умовного палива складає: $148,5/8 = 18,5$ кг. Це

дуже велика величина, і щоб знизити її, на цукрових заводах при випарюванні соку застосовують принцип багаторазового використання тепла гріючої пари, в результаті чого витрата умовного палива зменшується до 6 – 7 кг на 100 кг буряка.

Суть такого принципу полягає в тому, що випарювання здійснюється в установці, яка складається із декількох послідовно з'єднаних випарних апаратів (корпусів). Сік поступає в I корпус, обігріваний ретурною парою, де із нього випарюється частина води, утворюється вторинна (сокова) пара. Згущений небагато сік поступає в II корпус, де також випарюється частина води, і так до останнього корпусу, звідки виходить уже сироп. Утворена в I корпусі вторинна пара направляється на обігрів II корпусу, вторинна пара із II – на обігрів III корпусу, із III – на обігрів IV корпусу.

Рух соку і вторинних парів здійснюється в результаті зменшення тиску від I до останнього корпусу, який підтримується за допомогою вакуум-насоса і барометричного конденсатора. Конденсатор не обігріваний вторинною парою, в ньому в результаті перепаду тиску проходить самовипарювання.

При нормальному атмосферному тиску, вода кипить при 100°C, а температура кипіння цукрових розчинів залежить від концентрації сухих речовин. З домішками температура кипіння цукрових розчинів збільшується. Підвищення температури цукрових розчинів в порівнянні з температурою кипіння води – температурна чи фізико-хімічна депресія має від'ємний характер, так як у випарних апаратах зменшується корисна різниця температур (різниця між температурами гріючої пари і киплячого соку).

3.3 Згущення соку у випарному апараті

Випарні установки в основному komponують із вертикальних трубчатих теплообмінників – випарних апаратів з природною багаторазовою циркуляцією соку. Випускають такі апарати з поверхнею нагріву 1500, 1800, 2000, 2360, 3000 і 3200 м². В нижній частині вертикального циліндричного корпусу розміщена

гріюча камера, яка складається із двох трубних решіток і системи кип'ятильних труб діаметром 33 мм (корисною висотою 3400 – 4300 мм, в залежності від поверхні нагріву апарата), кінці яких розвальцьовані в отворах трубних решіток. В міжтрубний простір, який обмежений циліндричними стінками корпуса, підводять гріючу пару, знизу відводять конденсат гріючої пари, а зверху – неконденсуючі гази і повітря, яке поступило з гріючою парою.

Сік, який випарюється подають через патрубок під нижню трубну решітку і заповнюють кип'ятильні труби приблизно на одну третю висоти. При кипінні в результаті утворення бульбашок пари об'єм соку збільшується, сік заповнює кип'ятильні труби і випарюється над верхньою трубною решіткою. Бульбашки лопаються, пара звільнюється від скраплення в надсоковому просторі, а сік по нахиленій площині трубної решітки стікає в циркуляційні труби.

Частина згущеного соку разом із свіжим соком знову поступає в кип'ятильні труби знизу, а частина виводиться із апарату через патрубки, які розміщені в нижній частині циркуляційних труб.

Природна циркуляція соку проходить внаслідок різниці густини стовпа паро-сокової суміші в кип'ятильних трубах і стовпа соку в циркуляційних трубах. Густина парової суміші менше густини соку і залежить від паровмісту.

Висота рівня соку в кип'ятильних трубах має важливе значення для роботи випарних апаратів. Його підтримують таким чином, щоб верхня трубна решітка тільки омивалась соком, який кипить. Оптимальний рівень соку, який не кипить, що спостерігають по сокопоказним пристроям в корпусах багатоступінчатої випарної установки, повинен бути (в % від загальної висоти кип'ятильних труб): в I – 30-35, в II – 35-40, в III – 40-45, в IV – 45-50, в концентраторі (К) 50-55. При меншому рівні верхня частина поверхні нагріву не буде омиватися соком, що призведе до зниження продуктивності апаратів і пригорання цукрози на обігріваємих стінках. Якщо рівень соку в трубках надто високий, то знижується інтенсивність теплопередачі і циркуляції соку і стає можливим викид продукту в гріючу камеру наступного корпусу. Вторинна пара заповнює

надсоковий об'єм і відводиться через виносний сепаратор, який затримує бризки соку. Сік, який зловив сепаратор, повертається в нижню частину випарного апарату, а вторинна пара направляється на обігрів наступного корпусу випарної установки і відбирають на технологічні потреби.

Випарні апарати з природною багаторазовою циркуляцією мають недоліки. В них тривалий час при високій температурі знаходяться великі маси випарюваного соку. Через порушення режиму циркуляції і коливання рівня соку в кип'ятильних трубах відбувається пригорання цукру на теплообмінних поверхнях, наростання кольору і підвищення розкладання цукрози.

Однопрохідні випарні апарати (плівково-прямоточні) через нетривале перебування в них соку більш кращі, так як при згущенні низькобуферних цукрових розчинів розкладання цукрози і наростання кольору незначні.

Плівково-прямоточний випарний апарат ВАПП-1250 (рис. 3.1) являє собою ємність, яка містить двохходову по руху випарюваного соку площу поверхні нагріву, яка складається із центрального пучка і периферійного пучка труб, завальцованих в трубні решітки. Периферійний пучок труб оснащений пристроєм, який складається із сит для утворення плівки випарюваного розчину.

Ємність має камеру, по якій сік підводиться знизу вгору. На верхній трубній решітці над центральним пучком труб встановлена циліндрична надставка з кільцевою щілиною в нижній частині, а над периферійним пучком труб розміщений січний конус з циліндричною обичайкою, яка утворює із стінкою верхньої ємності камеру для відділення зважених домішок із випарюваного соку. Домішки видаляються через патрубок.

Над верхньою трубною решіткою навколо периферійного пучка труб встановлено кільце, навколо якого встановлені сита, розміщені по вертикалі з зазором. На циліндричній надставці прикріплений сипаруючий пристрій у вигляді відбійного конуса з прикріпленими до нього зігнутими по спіралі лопатками. Вторинну пару відводять через колектор з заслінками, а неконденсуючі гази – через патрубок. Для підвищення стійкості роботи випарних апаратів в умовах

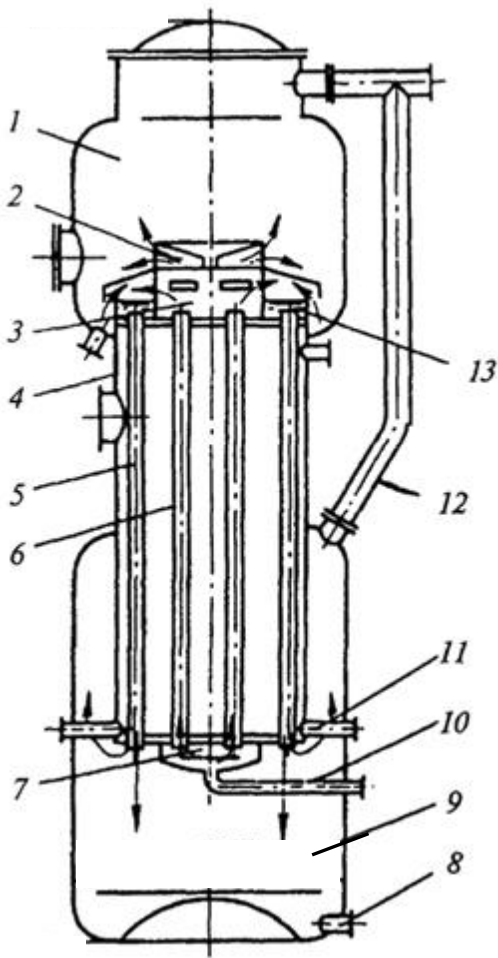


Рисунок 3.1 –
Випарний апарат
ВАІП–1250

нерівномірного відбору вторинної пари верхня і нижня частина ємності з'єднані колектором з заслінками.

Випарний апарат ВАІП–1250 (рис. 3.1) працює наступним чином. Сік, підігрітий до температури кипіння, надходить в приймальну камеру 7, потім в трубки 6, де закипає, і разом з парою, що утворилася, рухається вгору по гріючій камері 4. Пройшовши сепаруючий пристрій 2 і надставку 3, де від соку відділяється пара, сік далі через розподільний пристрій 13 надходить в кип'ятильні трубки 5 плівкової частини апарату і у вигляді тонкої плівки стікає по внутрішній поверхні. Пара, що утворилася, разом зі згущеним соком надходить в нижній сепаратор 9. Вторинна пара по системі труб 12 з сепараторів 1 і 9 відводиться в наступний корпус. Апарат відповідає технологічним і теплотехнічним вимогам, що

пред'являються до випарних апаратів, і має кращі показники, ніж у типових апаратах з природною циркуляцією. Час перебування соку в тонкоплівковому апараті значно менший, ніж в типових. Апарат може ефективно працювати при малій корисній різниці температур. Відсутні втрати корисної різниці температур від гідростатичного тиску унаслідок вільного стікання плівки випарюваного розчину.

Технічні характеристики плівкового прямоточного випарного апарату ВАІП-1250 наведені на третьому кресленні графічної частини.

Порівняння однопрохідного випарного апарату і апарату з природною багаторазовою циркуляцією в режимі роботи I корпусу випарної установки

показали, що в першому апараті втрати цукрози від розкладання були в 1,5 рази, а колір соку в 4 рази менші, ніж у другому, коефіцієнт теплопередачі вище в 1,12 рази.

Застосування в тепловій схемі цукрового заводу випарної установки, яка складається із однопровідних апаратів, дає можливість знизити витрату тепла в порівнянні з використанням типової схеми приблизно на 20 %, збільшується відбір вторинних парів із останніх корпусів випарної установки і забезпечить отримання сиропу з високою густиною без виходу пари в конденсатор.

3.4 Узагальнена схема автоматизації технології випарювання сиропу

Випарна установка – основна ланка теплового господарства цукрового заводу і найбільший споживач пари. В ній пари більш високого потенціалу перетворюються в пари з пониженим тиском і температурою, які відбираються для нагріву різних проміжних продуктів. По важливості виконавчих функцій випарна установка займає центральне місце в технологічній і тепловій схемах заводу. Від її роботи залежить продуктивність заводу, витрата палива, втрати цукрози, якість товарного цукру.

На даному цукровому заводі застосовують схему з чотирьохкорпусною випарною установкою і концентратором (наведено на другому кресленні графічної частини). Така установка стійка в роботі. Працює вона наступним чином. Сульфітований очищений сік перед випарюванням нагрівають в багатоходових підігрівачах під тиском до кипіння і направляють в корпус випарки, де випарюється частина води, утворюючи вторинну пару. Із I корпусу сік послідовно проходить II, III, IV корпусу і концентратор, згущуючись до певної густини.

Ретурну пару подають тільки в парову камеру I корпусу, а кожний наступний корпус обігрівается вторинною парою попереднього, попередньо звільнившись в сепараторах від бризок соку. Концентратор не обігрівается парою, в ньому відбувається тільки самовипарювання. При наявності надлишкової

вторинної пари в IV корпусі, з яких-небудь причин не використаної на інші технологічні потреби, по схемі її можна подати в гріючу камеру концентратора.

Таким чином, внаслідок багаторазового використання теплоти в чотирьохкорпусній випарній установці одним кілограмом пари можна випарити майже 4 кг води. На практиці частину вторинної пари відбирають на інші технологічні потреби, тому випарюють 2,2 – 2,4 кг пари.

Багаторазове використання теплоти пари можливе лише при умові, що температура кипіння соку, відповідно і тиск в корпусах випарної установки будуть знижуватися від першого до останнього. Для створення різниці тиску I корпус обігрівують ретурною парою із збитковим тиском біля 0,3 МПа і температурою 130°C, а останній корпус (концентратор) через каскадні барометричні конденсатори, і краплєвловлювачі з'єднують з повітряним вакуум-компресором. В результаті конденсації вторинної пари в барометричних конденсаторах створюється остаточний тиск 0,017 – 0,021 МПа, що забезпечує кипіння соку в останньому корпусі випарної установки і в концентраторі при температурі 89 і 68,4°C відповідно.

Температуру і тиск в проміжних корпусах установки не регулюють, вони встановлюються самі собою на відповідному рівні в залежності від площі поверхні нагріву цих корпусів і паровідбору на технологічні потреби. Корисний перепад температури в корпусах I і II приймають рівним не менше 6°C, а в наступних корпусах – 10 – 12°C. Підвищення корисного перепаду температур в останніх корпусах викликано підвищенням в'язкості розчину, що випарюється і зменшенням внаслідок цього коефіцієнту передачі. Чим більший в апараті з природною багаторазовою циркуляцією тепловий перепад між гріючою парою і соком, що кипить, тим вища швидкість циркуляції соку і, власне, коефіцієнт передачі, менше утворення накипу, розміри апаратів, а також тривалість перебування соку в них.

В якості критерію управління режимом роботи випарної установки прийняті затрати на випарювання, які визначаються витратою пари в корпус I,

втратами цукру від термічного розкладання у випарних апаратах і при зберіганні буряку на кагатному полі. Мета управління – мінімізація цих затрат.

Оптимальним режимом роботи випарної установки вважається такий, коли при мінімально можливому температурному режимі і розвантаженому концентраторі досягається задана концентрація сиропу. Підтримання оптимального режиму роботи установки, який піддається випадковим і монотонно змінюючимся збурюючим діям, потребує постійного коректування. При цьому ведуть систематичний перерахунок завдань системам регулювання продуктивності по випарюваній воді I корпусу і вмісту сухих речовин в сиропі, і періодично з тимчасовим інтервалом, який задається з пульта управління, коректування температурного режиму випарної установки шляхом зміни завдання регуляторів тиску вторинних парів корпусів I і II. Перерахунок виконують з урахуванням фактичних значень витрати і концентрації соку і клеровки, навантаження концентратора та інших корпусів, а також вміст сухих речовин в сиропі після ВУ і в сиропі з клеровкою.

Корегування температурного режиму випарної установки виконують після перевірки необхідності і можливості її виконання шляхом порівняння фактичних значень тиску вторинної пари корпусу II і положення регулюючого клапана на підживлення надсокового простору корпусу II з запізненням (допустимими) значеннями.

Для запобігання перерегулювання при управлінні роботою випарної установки аналізують тенденцію зміни продуктивності концентратора і вибирають напрямлення перерахунку необхідної продуктивності I корпусу.

Вище вказана важливість керування тиском у випарному апараті в корпусі I випарної станції. Тому слід розробити систему регулювання цього параметра, перевірити її стійкість і, покращити якість регулювання.

3.5 Розробка структурної схеми системи керування тиском у випарному апараті випарної станції

3.5.1 Рівняння елементів системи

Користуючись літературними джерелами запишемо рівняння елементів. об'єкта:

$$T_o \left(\frac{dF}{dt} \right) + F = k_o \alpha - k_5 f ; \quad (3.1)$$

датчика:

$$T_1^2 \left(\frac{d^2 l_1}{dt^2} \right) + T_2 \frac{dl_1}{dt} + l_1 = k_1 F ; \quad (3.2)$$

перетворювача:

$$U_T = k_2 l_1 ; \quad (3.3)$$

підсилювача:

$$U_{II} = k_4 \varepsilon ; \quad (3.4)$$

виконавчого пристрою:

$$T_3 \frac{d^2 \alpha}{dt^2} + \frac{d\alpha}{dt} = k_3 U_{II} ; \quad (3.5)$$

елемента порівняння:

$$\varepsilon = U_3 - U_T . \quad (3.6)$$

Параметри:

- F – тиск пари в над соковому просторі випарного апарату;
- α - кут повороту вала редуктора;
- ε – відхилення тиску;
- U_3 – заданий тиск пари в над соковому просторі;
- l_1 – переміщення чутливого елемента;
- U_T – вихідна напруга перетворювача датчика тиску;
- U_{II} – вихідна напруга підсилювача;
- f – еквівалентне збурення.

Значення сталих часу та коефіцієнтів підсилення елементів системи:

$$k_o = 0,86 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2 \cdot \text{рад}; \quad k_1 = 9 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{Н}; \quad k_2 = 200 \text{ В/м}; \quad k_3 = 4,0 \text{ рад/с} \cdot \text{В}; \\ k_4 = 350; \quad T_o = 10 \text{ с}; \quad T_1 = 0,02 \text{ с}; \quad T_2 = 0,04 \text{ с}; \quad T_3 = 0,1 \text{ с}.$$

3.5.2 Вимоги до синтезованої САР

До синтезованої системи пред'являють наступні вимоги:

- максимальне перерегулювання не повинно перевищувати 25 %;
- запас стійкості за модулем не менше 15 дБ, за фазою не менше 30°;
- зменшити час регулювання на 25 %;
- в процесі синтезу систему розробити систему, оптимальну за швидкодією.

3.5.3 Будова, принцип регулювання та принцип дії САР

Завдання САР - підтримка тиску повітря в надсоковому просторі корпусу І установки на певному (приблизно сталому) рівні, що задається оператором. Контроль тиску здійснюється за допомогою чутливого елемента, яким є мембрана датчика тиску. На мембрані даного перетворювача сформований міст Уїнстона з дифузійних тензорезисторів. Перетворювач відокремлений від вимірюваного середовища сталеною мембраною, привареною до корпусу тензомодуля. Тиск, що впливає на сталеву мембрану, передається на первинний перетворювач через силіконове масло, яким заповнений тензомодуль і викликає зміну опору тензорезисторів і, як наслідок, розбаланс мостової схеми. Далі, через нормуючий підсилювач сигнал поступає на мікроконтролер, на якому здійснюється порівняння заданого і дійсного значення тиску пари.

САР складається з задавача, чутливого елемента – мембрани, запірного клапана, зв'язаного з мембраною, магістралі, якою об'єкт зв'язаний з датчиком тиску, виконавчого пристрою. В усталеному стані, коли тиск пари в надсоковому просторі дорівнює заданому значенню – запірний клапан знаходиться в певному положенні. Якщо тиск в надсоковому просторі в силу якихось обставин зміниться в той чи інший бік, зміниться положення мембрани, сигнал датчика тиску порівнюється із заданим значенням, а за різницею вказаних сигналів мікроконтролер сформує керуючий сигнал на виконавчий механізм, який

змінить положення запірного клапана, зменшуючи або збільшуючи, залежно від ситуації, надходження пари в систему.

Таким чином, в даній схемі реалізовано принцип регулювання за відхиленням дійсного значення вихідної величини об'єкта від його заданого значення. Для реалізації принципу керування за відхиленням САР має бути замкнутою. Основною особливістю і перевагою цієї схеми є те, що САР реагує на відхилення дійсного значення регульованої величини від заданого значення не залежно від причин, які зумовили це відхилення.

Згідно наведеного опису розробимо функціональну схему системи керування тиском у випарному апараті у I випарному апараті випарної станції.

3.5.4 Функціональна схема САР тиску випарної станції

Побудуємо функціональну схему САР, яка представлена на рис. 3.2:

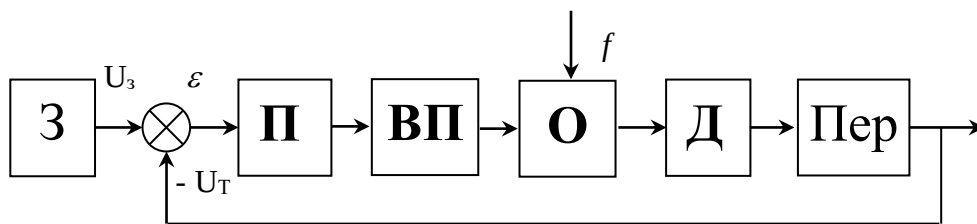


Рисунок 3.2 – Функціональна схема САР тиску випарної станції:

З – задаючий пристрій; П – підсилювач; ВП – виконавчий пристрій; О – об'єкт; Д – датчик; Пер – перетворювач

3.5.5 Структурна схема САР тиску випарної станції

При побудові структурної схеми САР використаємо диференціальні рівняння елементів схеми. Перейдемо від диференціальних рівнянь елементів системи до передаточних функцій цих елементів. Передаточна функція елемента – це відношення зображення за Лапласом вихідної величини до зображення за Лапласом вхідної величини при нульових початкових умовах [6]. При цьому слід врахувати, що мікроконтролер не змінює сигнал ні по амплітуді ні по фазі, тому

його передаточний коефіцієнт дорівнює 1 і тому в динаміці системи не враховується, і, як наслідок, на структурній схемі мікроконтролер не враховується.

Для отримання передаточної функції об'єкта прирівняємо до нуля збурюючі діяння f , так як наша задача – отримати передаточну функцію за керуючим діянням, отже отримаємо диференціальне рівняння об'єкта в такому вигляді:

$$T_o \left(\frac{dF}{dt} \right) + F = k_o \alpha ;$$

Для отримання передаточних функції елементів схеми застосовано пряме перетворення Лапласа:

$$T_o \bar{F} p + \bar{F} = k_o \bar{\alpha} , \text{ де } p - \text{оператор Лапласа.}$$

$$W_o(p) = \frac{\bar{X}_{\text{вих}}}{\bar{X}_{\text{вх}}} = \frac{\bar{F}}{\bar{\alpha}} = \frac{k_o}{T_o p + 1} . \quad (3.7)$$

Це аперіодична динамічна ланка першого порядку.

Аналогічним чином отримуємо передаточну функцію датчика:

$$W_d(p) = \frac{\bar{l}_1}{\Delta \bar{F}} = \frac{k_1}{T_1^2 p^2 + T_2 p + 1} . \quad (3.8)$$

Це аперіодична динамічна ланка другого порядку, або коливальна ланка. Для точного визначення здійснимо перевірку, для чого розв'яжемо рівняння в знаменнику (характеристичне рівняння). В даному випадку – це квадратне рівняння. У випадку отримання дійсних різних коренів – матимемо аперіодичну динамічну ланку другого порядку, у випадку отримання дійсних рівних коренів – матимемо консервативну ланку, у випадку отримання комплексних коренів – матимемо коливальну ланку. Отже, підставивши значення сталих часу, отримаємо:

$$0,0004 p^2 + 0,04 p + 1 = 0$$

$$D = 0,04^2 - 4 \cdot 0,0004 \cdot 1 = 0 .$$

Знайдемо корені характеристичного рівняння:

$$p_{1,2} = \frac{-0,04}{2 \cdot 0,0004} = -50,0 .$$

Позначимо сталу часу $T_1 = -1/p_{1,2} = 0,02$

Отже, динамічний режим датчика тиску описується консервативною динамічною ланкою.

Передаточна функція перетворювача:

$$W_{Пер}(p) = \frac{\bar{U}_T}{\bar{l}_1} = k_2. \quad (3.9)$$

Це підсилювальна динамічна ланка.

Передаточна функція підсилювача:

$$W_{П}(p) = \frac{\bar{U}_{П}}{\bar{\varepsilon}} = k_4. \quad (3.10)$$

Це підсилювальна динамічна ланка.

Передаточна функція виконавчого пристрою:

$$W_{ВП}(p) = \frac{\bar{\alpha}}{\bar{U}_{П}} = \frac{k_3}{T_3 \cdot p^2 + p} = \frac{k_3}{p(T_3 \cdot p + 1)}. \quad (3.11)$$

Це реальна інтегруюча ланка. Ідеальна інтегруюча ланка має передаточну функцію $\frac{k_3}{p}$ або $\frac{1}{T_i \cdot p}$. Подамо її через сталу часу, яка буде дорівнювати $T_i = 1$ с.

З'єднавши типові динамічні ланки відповідно до передачі діянь, дістанемо структурну схему (наведено на п'ятому кресленні) системи керування тиском у випарному апараті випарної станції (рис. 3.3).

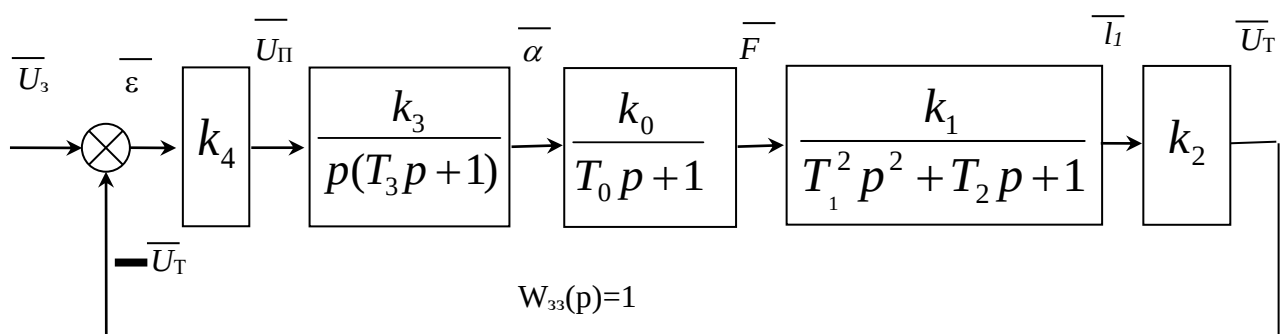


Рисунок 3.3 – Структурна схема САР тиску випарної станції

3.5.6 Визначення передаточних функцій розімкнутої, замкнутої системи та характеристичного рівняння

Елементи структурної схеми САР розташовані послідовно, тому для отримання передаточної функції розімкнутої системи потрібно перемножити передаточні функції всіх елементів [7]:

$$\begin{aligned} W_p(p) &= W_{\Pi}(p) \cdot W_{БП}(p) \cdot W_O(p) \cdot W_{Д}(p) \cdot W_{Пер}(p) = \\ &= \frac{k_4 k_3 k_0 k_1 k_2}{p(T_3 p + 1)(T_0 p + 1)(T_1^2 p^2 + T_2 p + 1)} \end{aligned}$$

Для спрощення запису введемо позначення: $k = k_4 k_3 k_0 k_1 k_2$.

Тоді передаточна функція розімкнутої системи матиме вигляд:

$$W_p(p) = \frac{k}{p(T_3 p + 1)(T_0 p + 1)(T_1^2 p^2 + T_2 p + 1)} \quad (3.12)$$

Передаточна функція замкнутої системи, з врахуванням того, що $W_{зз}(p) = 1$, розраховується за формулою

$$W_z(p) = \frac{W_p(p)}{1 + W_p(p)} = \frac{k}{p(T_3 p + 1)(T_0 p + 1)(T_1^2 p^2 + T_2 p + 1) + k}. \quad (3.11)$$

Характеристичне рівняння має вигляд:

$$\begin{aligned} T_3 T_0 T_1^2 p^5 + (T_3 T_0 T_2 + (T_3 + T_0) T_1^2) p^4 + (T_3 T_0 + (T_3 + T_0) T_2 + T_1^2) p^3 + \\ + (T_3 + T_0 + T_2) p^2 + p + k = 0 \end{aligned} \quad (3.12)$$

3.6 Розробка схем електричних принципових реалізації системи керування тиском у випарному апараті випарної станції

На основі структурної схеми розробимо електричну принципову схему.

Поява та швидке вдосконалення мікропроцесорних засобів призвело до їх широкого застосування у різних галузях народного господарства. Функціональна

гнучкість, висока надійність, малі габарити та вартість мікропроцесорних засобів обумовлюють доцільність їх застосування в системах автоматичного керування.

Сучасна елементна база цифрової техніки відкриває широкі можливості побудови цифрових регуляторів з програмною реалізацією операцій в реальному масштабі часу на основі мікропроцесорів. Зокрема, однокристальні мікроконтролери представляють собою прилади, що конструктивно виконані у вигляді ВІС і вміщують в себе складові частини мікроЕОМ: мікропроцесор, пам'ять програм, пам'ять даних, а також програмуємі інтерфейси для зв'язку із зовнішнім середовищем. Використання мікроконтролерів в системах керування забезпечує досягнення виключно високих показників ефективності при низькій вартості, малих габаритах, вазі, енергоспоживанні, відносно високій обчислювальній потужності [8].

Структурна організація, набір команд та апаратурно-програмні засоби вводу/виводу інформації МК краще всього пристосовані для вирішення задач керування і регулювання в приладах, пристроях і системах автоматики. На практиці при проектуванні мікропроцесорних САК слід враховувати ряд факторів – це забезпечення заданих показників якості керування, раціональний розподіл функцій САК між апаратними та програмними засобами, спряження цифрової і аналогової частин САК.

На такі показники якості керування, як динаміка, точність, вірогідність виконання функцій керування та ін., впливають особливості цифрової реалізації алгоритму керування в МК. Як відомо, при цифровому представленні інформації здійснюється дискретизація процесів в часі та квантування по рівню. Дискретизація в часі, що здійснюється у відповідності з деяким критерієм якості функціонування САК, пред'являє вимоги до швидкодії МК, а квантування по рівню приводить до виникнення шумів квантування.

Рішення задачі розподілу функцій САК на апаратно та програмно реалізуємі пов'язане із необхідністю аналізу багатьох факторів, першочерговими з яких, поряд із забезпеченням заданої потужності мікроконтролера, є структура системи, характер представлення вхідної і вихідної інформації та особливості цифрових алгоритмів обробки інформації.

Для спраження аналогової частини САК з мікроконтролером використовуються аналого-цифрові та цифроаналогові перетворювачі, до яких пред'являються високі вимоги по швидкодії, точності та лінійності перетворення [6]. Виникає необхідність схмотехнічного та програмного спраження АЦП іншої розрядності, в порівнянні з тією, яку має мікроконтролер. Однак останнім часом достатньо широкого розповсюдження отримали мікроконтролери з вбудованими АЦП достатньо високої розрядності, що дає можливість не використовувати додаткові мікросхеми, а це значно полегшує проектування схем електричних.

Враховуючи вище викладене для побудови мікропроцесорної САК таким вимогам задовольняє однокристальний мікроконтролер типу AT90S4433.

В порівнянні з апаратурно реалізованими цифровими регуляторами регулятори з програмною реалізацією є менш швидкодіючими, але більш універсальними, легко переналаштовувемими і мають кращі масогабаритні характеристики. Надійність мікропроцесорних систем автоматичного керування в порівнянні із системами на іншій елементній базі є більш високою.

ЦАП однозначно перетворює кодові комбінації цифрового сигналу в аналоговий сигнал. АЦП вирішує задачу пошуку однозначної відповідності аналоговому сигналу цифрового коду. Одна із основних вимог, що пред'являються до АЦП і ЦАП – це можливість їх спраження з мікропроцесором, що передбачає сумісність логічних рівнів цифрових сигналів перетворювачів і шини даних мікропроцесора, співпадання видів цифрових кодів і формату даних, програмну сумісність. Мікроконтролер AT90S4433 містить вбудовані ЦАП і АЦП.

В САР тиску випарної станції можна виділити дві основні частини: слабкострумову (керуючу) та силову (енергетичну). Реалізація слабкострумової частини на одному мікропроцесорі підвищує надійність і універсальність САР, дозволяє просто реалізувати закони зміни керуючих діянь. Оскільки інформація про процес регулювання міститься в самому цифровому сигналі і не пов'язана з його енергією, то вона менш піддана дії перешкод та викривлень.

Слабкострумова частина мікропроцесорної САР повинна вирішувати задачі програмної реалізації цифрового регулятора і формування спеціальних кодових послідовностей для керування силовою частиною з метою отримання сигналу для керування приводом заслінки.

Принципальна схема слабкострумової частини системи представлена на восьмому кресленні графічної частини. Вона складається із мікроконтролера AT90S4433, який реалізує алгоритм керування, датчика тиску, вхідного масштабуючого пристрою для приведення вхідних сигналів до уніфікованого рівня, що сприймається МК, мультиплексора DD1 (AD7890), демультимплексора DD2 (K530 ИД7), рідкокристалічного індикатора. Мікросхема DD3 (AT90S4433) – мікроконтролер з внутрішнім тактовим генератором G1, частота якого визначається зовнішнім кварцовим резонатором 12 МГц. Характеристики МК наступні: 131 операція за один такт; 32 регістра загального призначення; один машинний такт дорівнює двом машинним циклам; можливе підключення 64 кБайта розширеної внутрішньої пам'яті; два 8-бітних таймера лічильника з окремими режимами управління і установки; вмонтований аналоговий компаратор; 35 програмних входів і виходів; 40 вихідний корпус PDIP або 44 – TQFP; напруга живлення: від 2,8 до 5,5 В.

Вхідні масштабуючі підсилювачі, які перетворюють вхідні сигнали датчика та задавача до рівня, що сприймається мікропроцесорною системою, виконані на елементах DA3, DA4 (K140УД17 – це операційний підсилювач, який використовується для підсилення без викривлень сигналів з датчиків, подавляє синфазний сигнал, має малу напругу зміщення нуля, малий його дрейф, малий рівень шумів, великий вхідний опір), зміна масштабу виконується зміною коефіцієнта підсилення операційного підсилювача [6-7]; керуючий сигнал з порта PB1, PB2 МК надходить через демультимплексор DD2 на роз'єм, з якого на безконтактний реверсивний пускач ПБР-3.

В якості датчика тиску обрано датчик НМР331-150-7001-Н-1-100-1-150, призначений для безперервного перетворення вимірюваної величини – тиску рідких і газоподібних (зокрема газоподібного кисню і кисневмісних газових сумішей) середовищ (зокрема агресивних) в уніфікований струмовий вихідний сигнал.

Датчик призначений для використання в САР технологічними процесами в різних галузях промисловості. Його загальний вигляд, характеристики, електричний і механічний монтаж наведені на четвертому кресленні графічної частини.

В якості регулювального органу прийнято клапан типу Baels 340В, загальний вигляд якого і характеристики наведені на четвертому кресленні графічної частини.

В якості виконавчого механізму прийнято виконавчий механізм типу ПР1-М складається з реверсивного електродвигуна, редуктора і запускається через безконтактний реверсивний пускач ПБР-3. Реверсивний електродвигун має два короткозамкнених ротори типу білячого колеса, насаджених на одному валу і два статори, що закріплені в корпусі виконавчого механізму. Напрямок обертання вихідного вала електродвигуна залежить від того, обмотка якого з статорів знаходиться під струмом. Число обертів вала електродвигуна при холостому ході – 1500 об/хв., допустиме ковзання – 11 %. Двигун живиться від мережі змінного струму напругою 220 В і частотою 50 Гц. Редуктор виконавчого механізму складається з шести пар змінних шестірень. Це дозволяє встановлювати час півоберта вихідного вала виконавчого механізму ступінчасто: 10; 30; 60; 90; 120 с.

Отже, в третьому розділі здійснено аналіз засобів автоматизації цукрового виробництва, наведена узагальнена схема автоматизації технології випарювання сиропу, розглянуто процеси регулювання рівня соку у випарних апаратах та згущення соку, обґрунтовано доцільність багаторазового використання пари при випарюванні соку. Це дало можливість розробити функціональну та структурну схеми САР тиску випарної станції, визначити передаточні функції розімкнутої, замкнутої системи та характеристичного рівняння, а також розробити схеми електричні принципів реалізації САР тиску випарної станції.

4 РОЗРАХУНКИ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ВИРОБУ

4.1 Опис методики проведення експерименту для визначення передаточної функції об'єкта

Проектування системи автоматичного регулювання (САР) будь-якого об'єкту (машини, апарату, установки, технологічної лінії і тому подібне) полягає в підборі необхідних засобів автоматизації, складанні структурної схеми, виборі і розрахунку передавальних функцій ланок системи. В якості ланок проєктованих систем зазвичай використовують стандартизовані засоби з відомими параметрами передаточних функцій. Передавальна функція об'єкту управління зазвичай або зовсім невідома (вона не входить в номенклатуру технічних даних технологічного устаткування), або не відомі значення її параметрів. Тому перш ніж приступати до проектування САР конкретного об'єкту, необхідно провести його дослідження, зокрема, визначити його передавальну функцію.

Визначення передавальних функцій об'єктів управління може виконуватися як аналітичним, так і експериментальним методами. Аналітичний метод вимагає досконального вивчення внутрішньої будови об'єкту, усіх фізичних і хімічних процесів, що в ньому відбуваються, потужного математичного і обчислювального забезпечень і, як правило, застосовується до об'єктів унікальних, складних, дорогих.

Найбільшого поширення в практиці автоматизації набув експериментальний метод. Це пов'язано з тим, що він вимагає мінімальних відомостей про влаштування об'єкта, про процеси (в цьому випадку об'єкт виступає як "чорний ящик"), що протікають в ньому, і може бути застосований до тих об'єктів, що працюють в реальних, робочих умовах експлуатації, забезпечуючи прийнятну точність визначення передавальної функції. Суть експериментального методу полягає в деякій дії на вхід об'єкта, фіксації відгуку

на виході об'єкту і обробці експериментальних даних по прийнятих в теорії автоматичного регулювання методиках.

При дії на вхідну величину об'єкту вихідна величина змінюється від початкового значення до кінцевого усталеного значення у вигляді перехідного в часі процесу. Крива цього перехідного процесу називається перехідною характеристикою об'єкту і зазвичай фіксується у вигляді тимчасової діаграми $h(t)$, що містить усю необхідну інформацію для визначення виду передавальної функції об'єкту і її параметрів.

Визначення передавальної функції об'єкту за його перехідною характеристикою виробляється за методикою, в основі якої лежить метод апроксимації. Суть цього методу полягає в заміні реального досліджуваного об'єкту на деякий ідеальний, параметри якого заздалегідь відомі і їх набір мінімальний, і що відрізняється від реального об'єкту на практично допустиму погрішність. У теорії автоматичного регулювання такі ідеальні об'єкти – це типові ланки.

В даній магістерській роботі є необхідність визначення передаточної функції об'єкту, в якому вхідна величина – кут повороту вала редуктора запірного клапана, а вихідна – тиск пари в над соковому просторі випарного апарату. Для дослідження такого об'єкту і визначення його передавальної функції був розроблений експериментальний стенд, наведений на рис. 4.1.

Експериментальний стенд складається з наступних компонентів:

- моделі об'єкту автоматичного регулювання;
- мікропроцесорного вимірювача;
- перетворювача інтерфейсів;
- персонального комп'ютера.

Мікропроцесорний вимірювач в комплекті з первинним перетворювачем призначені для виміру фізичного параметра контрольованого об'єкту, відображення виміряного параметра на вбудованому цифровому індикаторі.

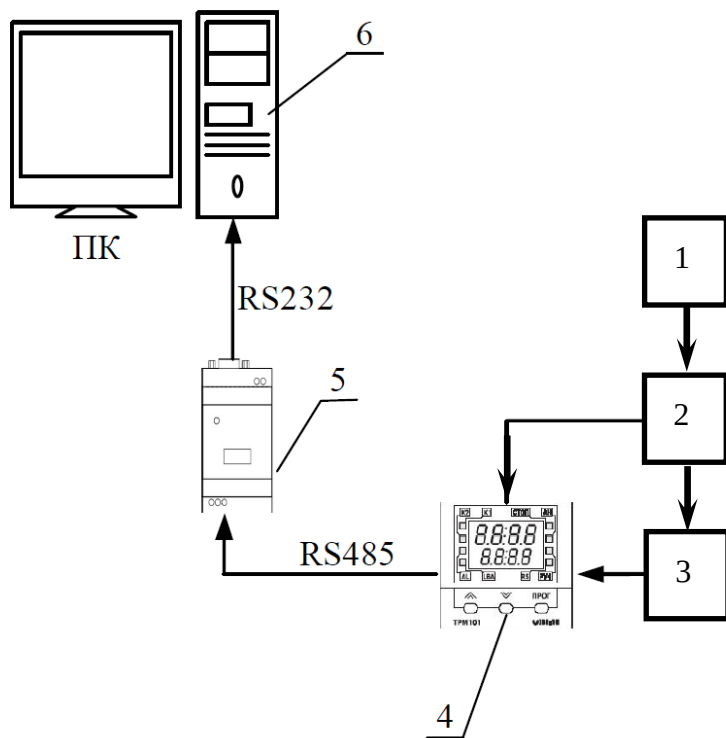


Рисунок 4.1 – Функціональна схема експериментального стенда:

- 1 – нагрівальний елемент ; 2 – термоперетворювач в стінці камери; 3 – термоперетворювач, занурений в верхній шар морозива; 4 – вимірювач TRM101; 5 – перетворювач інтерфейсів АС3М; 6 – персональний комп'ютер

Перетворювач інтерфейсів АС3М є пристроєм для взаємного електричного перетворення сигналів інтерфейсів RS232 і RS485, забезпечує гальванічну ізоляцію входів між собою і від живлячої мережі. Перетворювач дозволяє підключати до промислової інформаційної мережі RS485 пристрій з інтерфейсом RS232, такий як персональний комп'ютер, зчитувач штрих-кодів, електронні ваги і т. д.

Персональний

комп'ютер призначений для управління, контролю, збору і зберігання даних про хід експерименту, і візуалізації процесу виконання експерименту. На комп'ютер інстальовано програмне забезпечення MasterSCADA RT32, що являє SCADA-систему (систему збору і обробки даних в режимі реального часу) з широкими функціональними можливостями. У рамках цієї системи реалізований (підібрані, змонтовані і налаштовані усі елементи системи) описаний принцип роботи, який дозволяє отримувати перехідні характеристики теплових об'єктів в широкому діапазоні.

Для відладки роботи виконаного стенда були визначені характеристики об'єкту управління. Для цього були отримані графіки експериментальної перехідною характеристики об'єкту $y_o(t)$. При визначенні перехідної характеристики об'єкту управління зворотний зв'язок САР розривається і на об'єкт чиниться дія у вигляді стрибка вхідної величини. Іншими словами,

регулювальник миттєво включається на повну потужність і видає максимально можливе керуюче діяння на двигун редуктора, в нашому випадку – напруга величиною 220 В. Вихідна величина об'єкту, в нашому випадку – тиск, при цьому також змінюється від початкового сталого значення до кінцевого, але не стрибком, а у вигляді перехідного в часі процесу. В даному експерименті вимірюваним параметром є опір чутливого елемента. Крива перехідного процесу називається перехідною характеристикою об'єкту управління і зазвичай фіксується у вигляді часової діаграми зображеної на рис. 4.2. Розмір стрибка вхідної величини і перехідна характеристика містять усю необхідну інформацію для визначення виду передавальної функції об'єкту і її параметрів.

Усі дані про зміну температури і напруги фіксуються на жорсткому диску ЕОМ для подальшої обробки. За цими даними з достовірною для практичних розрахунків точністю можна визначити динамічні і статичні характеристики об'єкту регулювання, застосувавши спрощену інженерну методику, по дотичній перехідної характеристики в точці S максимальної похідної.

Для визначення використовується графічний метод, суть якого полягає в наступному. На графіку експериментальної перехідної характеристики $y_o(t)$ (рис. 4.2, наведено на п'ятому кресленні графічної частини) знаходять точку максимальної швидкості зміни вихідної величини, що є точкою перегину (зміни знаку кривизни) кривої, точку A . Через цю точку проводять дотичну BC до кривої перехідної характеристики до перетину її з лініями початкового значення $y(0)$ і сталого значення $y(\infty)$ вихідної величини. Точки перетину B і C зносять на вісь часу і відмічають два відрізки часу: один від моменту стрибка вхідної величини ($t=0$) до моменту, визначуваного точкою B , інший від моменту визначуваного точкою B , до моменту, визначуваного точкою C , перший відрізок часу є часом запізнювання τ , другий – постійною часу T об'єкту.

Для апроксимації кривої перехідного процесу в точці S проводиться дотична AB до перетину $y(t)$ з $y(\infty)$. Практично $y(\infty)$ визначається при досягненні вихідною змінною 98%-ного рівня усталеного значення.

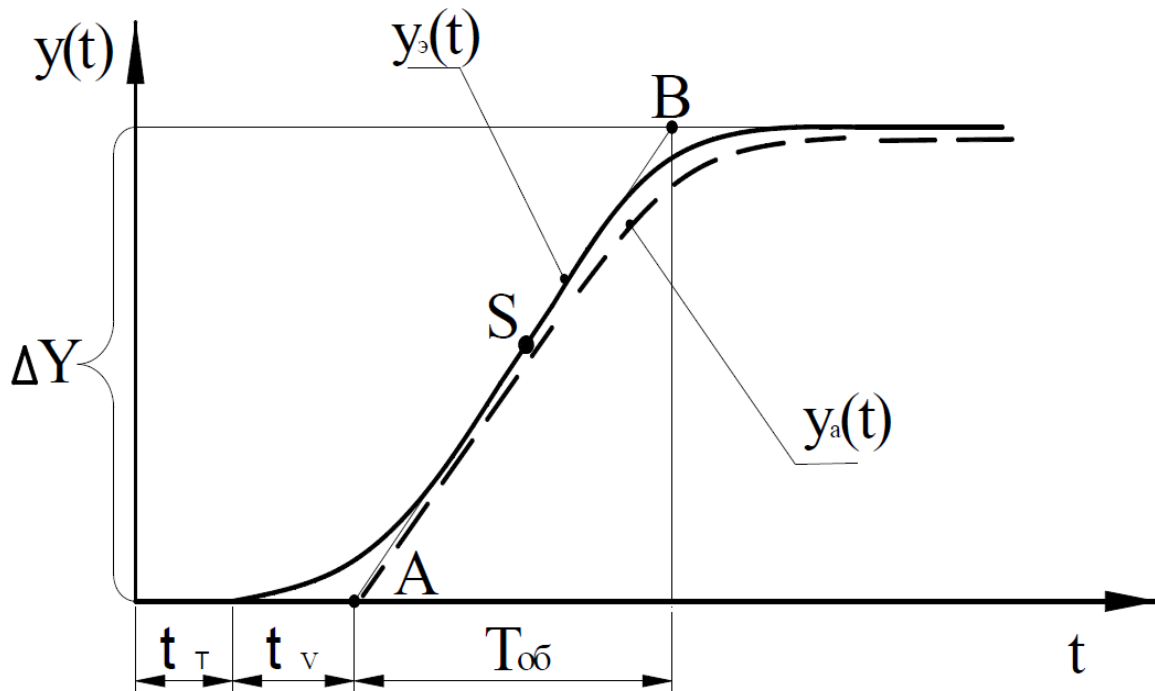


Рисунок 4.2 – Графік експериментальної перехідної характеристики об'єкту, графічного методу визначення динамічних і статичних характеристик і апроксимованої перехідної характеристики

По осі абсцис визначаються часові відрізки: t_T - час транспортного запізнювання; t_v - час ємнісного запізнювання об'єкту; τ - повний час запізнювання.

Повний час запізнювання визначається формулою:

$$\tau = t_T + t_v. \quad (4.1)$$

$T_{об}$ - постійна часу об'єкту (проекція дотичної АВ на вісь абсцис). Коефіцієнт підсилення об'єкту регулювання K_{yc} визначається відношенням приростів вихідної величини параметра об'єкту ΔY до величини дії на об'єкт ΔX , за формулою:

$$K_{yc} = \frac{\Delta Y}{\Delta X}. \quad (4.2)$$

По певних параметрах об'єкту можна записати рівняння в часовій формі:

$$\frac{T dy(t)}{dt} + y(t) = K_{yc} \cdot \Delta(t - \tau) \quad (4.3)$$

і в операторній формі, що враховує частотні властивості об'єкту:

$$W_{об}(p) = \frac{K_{yc} \cdot e^{-p\tau}}{T_{об} \cdot p + 1}, \quad (4.4)$$

де $W_{об}(p)$ - передавальна функція об'єкту управління.

В результаті проведення експерименту при використанні в якості чутливого елемента тензорезистора були отримані наступні дані.

Таблиця 4.1 – Отримані дані для терморезистора.

Час нагріву, с	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Опір, кОм	177	131	105	94	87	83	80	78	75	73	72	71	70	69	68	68
Нормовані значення	0	0,42	0,66	0,76	0,82	0,86	0,88	0,9	0,93	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1	1

За отриманими даними побудовано графік кривої розгону $R(t)$ при використанні тензорезистора в якості чутливого елемента (рис. 4.3)

В результаті проведення експерименту при використанні в якості чутливого елемента датчика, робота якого заснована на використанні п'єзорезистивного ефекту були отримані наступні дані.

Таблиця 4.2 – Отримані дані для термопар.

Час нагріву, с	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Напруга, мВ	0	7	10	12	14	16	18	19	20	21	22	23	23,5	24	24	24,5
Нормовані значення	0	0,28	0,4	0,48	0,57	0,65	0,73	0,77	0,81	0,85	0,89	0,93	0,95	0,97	0,97	1

За отриманими даними побудовано графік кривої розгону $R(t)$ при застосуванні датчика, робота якого заснована на використанні п'єзорезистивного ефекту (рис. 4.4)

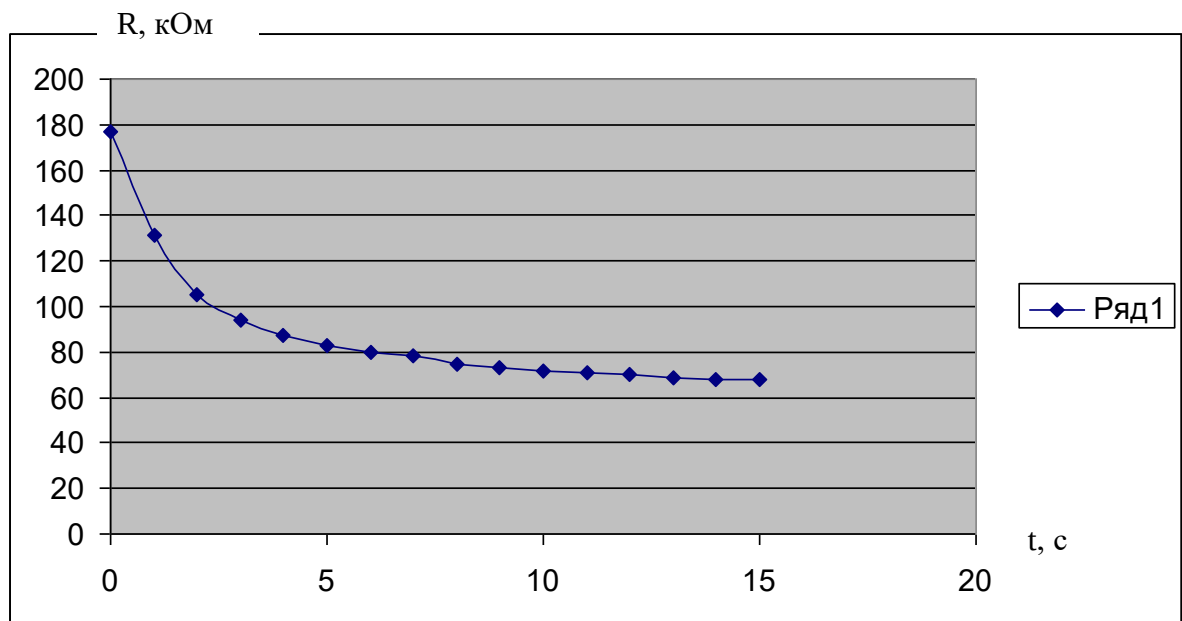


Рисунок 4.3 – Крива розгону $R(t)$ при використанні тензорезистора в якості чутливого елементу

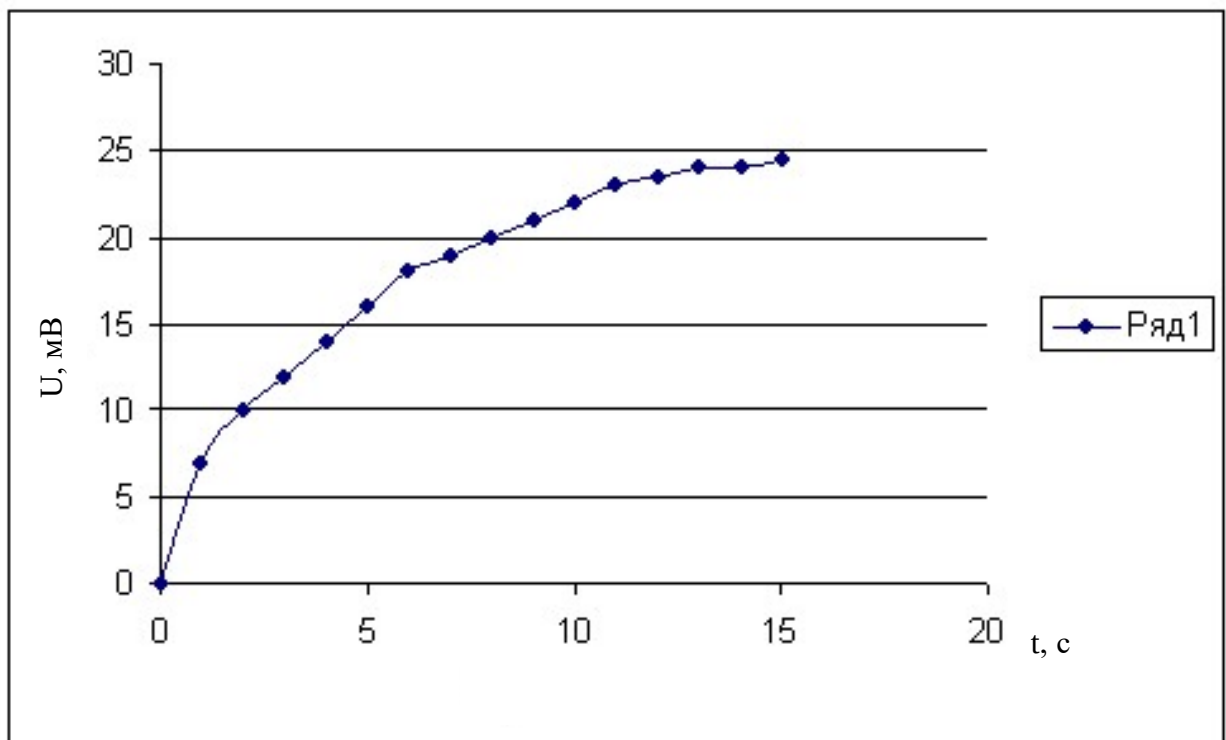


Рисунок 4.4 – Крива розгону $U(t)$ при застосуванні датчика, робота якого заснована на використанні п'єзорезистивного ефекту

Провівши перетворення, отримаємо нормовані криві – рис. 4.5, рис. 4.6.
(Наведено на п'ятому кресленні)

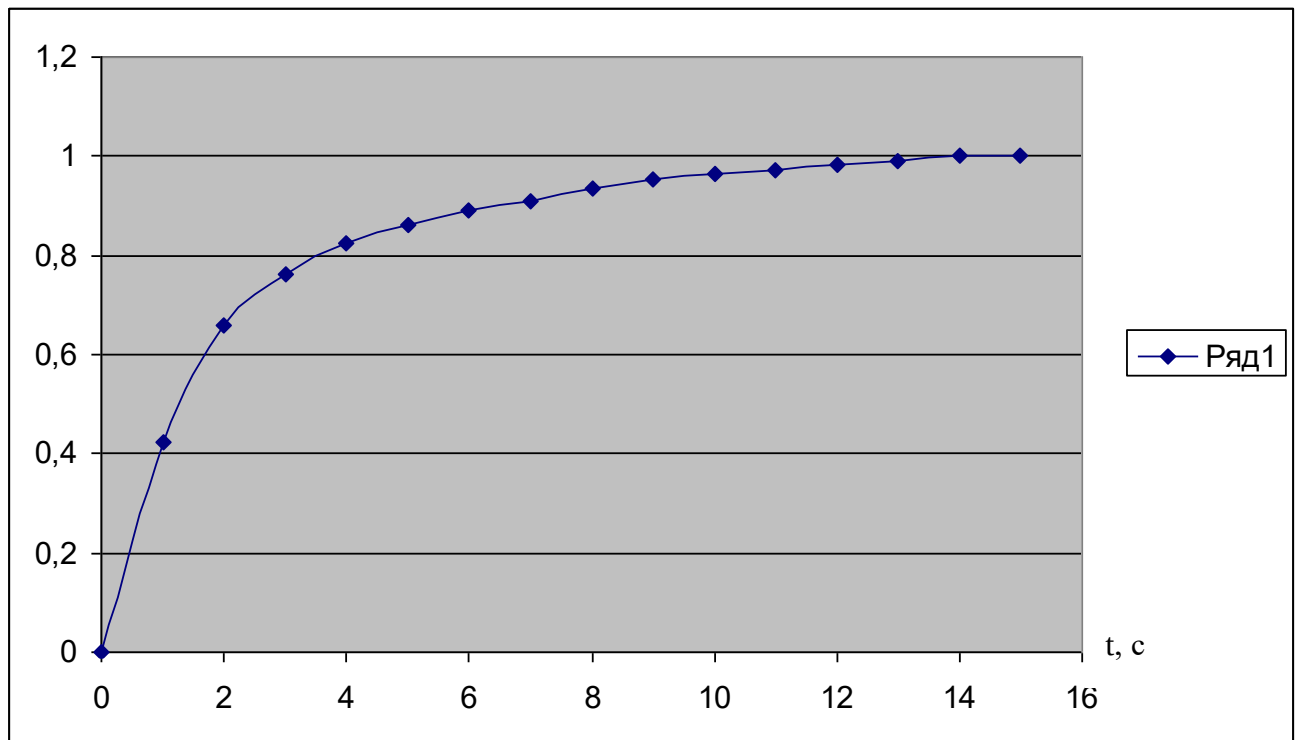


Рисунок 4.5 – Нормована крива розгону при використанні тензорезистора в якості чутливого елементу

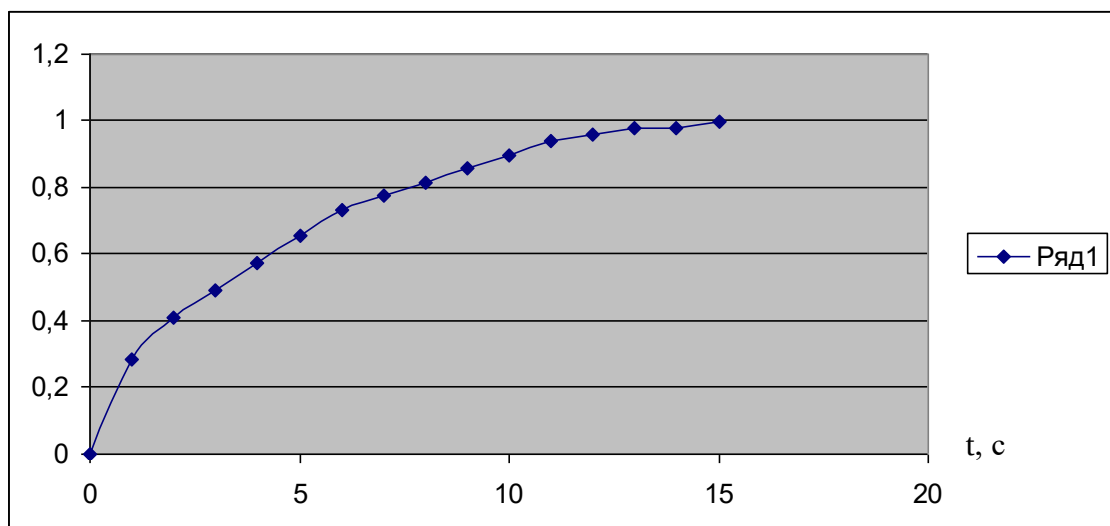


Рисунок 4.6 – Нормована крива розгону при застосуванні датчика, робота якого заснована на використанні п'єзорезистивного ефекту

За наведеною вище методикою визначимо передаточні функції об'єкта в двох випадках: при використанні тензорезистора в якості чутливого елементу

$$W_{o1}(p) = \frac{4}{2,2p + 1}; \quad (4.5)$$

при застосуванні датчика, робота якого заснована на використанні п'єзорезистивного ефекту

$$W_{o2}(p) = \frac{4}{3,5p + 1}. \quad (4.6)$$

Як бачимо за результатами експерименту, у випадку використання тензорезистора, отримали передаточну функцію об'єкта з меншою сталою часу. Оскільки під час проведення експерименту зовнішні та технологічні умови не змінювались, то різні значення сталих часу визначаються природою чутливих елементів. Тому для подальших розрахунків, враховуючи необхідність швидкого реагування на зміну технологічної інформації, приймемо передаточну функцію об'єкта, знайдену при використанні тензорезистора в якості чутливого елементу.

4.2 Визначення стійкості системи і запасів стійкості. Побудова області стійкості

4.2.1 Дослідження системи на стійкість та визначення області стійкості за методом D-розбиття в площині одного параметра

Перед дослідженням якості системи є необхідність встановити, чи стійка система автоматичного регулювання при певних параметрах її елементів. До того ж необхідно дати відповідь на питання про границі зміни того чи іншого параметра системи при умові збереження або досягнення стійкості. Границі або ділянку зміни одного або кількох параметрів системи можна знайти за допомогою методу *D*-розбиття [6].

Побудуємо область стійкості системи в площині параметру k_4 , тому що є можливість його зміни:

Запишемо характеристичне рівняння (3.12) відносно k_4 :

$$K(p) = -\frac{T_3 T_0 T_1^2 p^5 + (T_3 T_0 T_2 + (T_3 + T_0) T_1^2) p^4 + (T_3 T_0 + (T_3 + T_0) T_2 + T_1^2) p^3 + (T_3 + T_0 + T_2) p^2 + p}{k_3 k_0 k_1 k_2}.$$

Підставивши $p = j\omega$ та виділивши дійсну і уявну частини даного виразу, отримаємо:

$$P(\omega) = -\frac{(T_3 T_0 T_2 + (T_3 + T_0) T_1^2) \omega^4 - (T_3 + T_0 + T_2) \omega^2}{k_3 k_0 k_1 k_2};$$

$$Q(\omega) = -\frac{T_3 T_0 T_1^2 \omega^5 - (T_3 T_0 + (T_3 + T_0) T_2 + T_1^2) \omega^3 + \omega}{k_3 k_0 k_1 k_2}.$$

Побудуємо криву D-розбиття в площині параметру k_4 при зміні частоти від $-\infty$ до $+\infty$ (рис. 4.7).

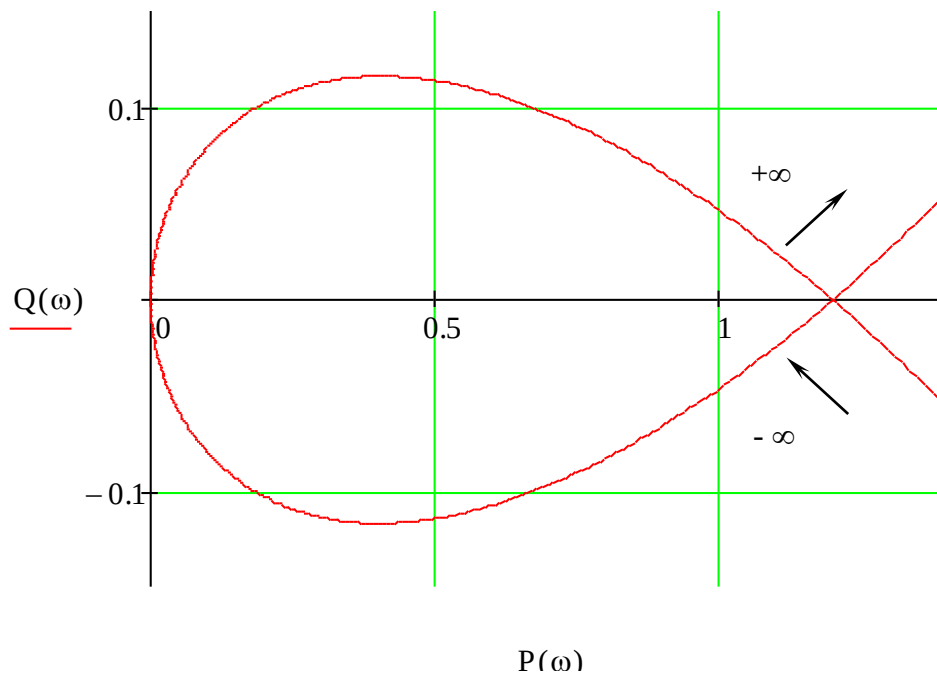


Рисунок 4.7 – D-розбиття в площині параметру k_4

З побудованої області стійкості (наведено на шостому кресленні графічної частини) можна визначити критичне значення коефіцієнта k_4 , яке в даному випадку дорівнює $k_{4кр} = 1,2$. Оскільки у стійкій системі всі корені містяться ліворуч від уявної вісі, при обході її від $-\infty$ до $+\infty$ ділянка стійкості також буде ліворуч від добутої кривої. Для зручності відшукування ділянки стійкості можна нанести на криву (рис. 4.7) штриховку зліва при русі від $-\infty$ до $+\infty$. Як видно, задане значення коефіцієнта підсилення підсилювача $k_4 = 350$ не входить в зону стійкості, а значить для подальших розрахунків необхідно зменшити задане значення цього параметра. То ж приймемо $k_4 = 1$.

4.2.2 Дослідження системи на стійкість та визначення запасів стійкості за модулем і фазою за допомогою частотного критерію Найквіста-Михайлова

За цим критерієм стійкість замкнутої системи автоматичного регулювання визначають за амплітудно-фазовою частотною характеристикою стійкої розімкнутої системи. Розімкнута система автоматичного регулювання стійка в тому разі, коли складається тільки із стійких динамічних ланок (має не більше однієї інтегруючої ланки). Якщо розімкнута САР є стійкою, то для стійкості замкнутої системи необхідно і достатньо, щоб АФЧХ розімкнутої системи не охоплювала точку з координатами $(-1, j0)$ при зміні частоти від 0 до ∞ (рис. 4.8).

Для побудови амплітудно-фазової частотної характеристики розімкнутої системи необхідно у відповідній передаточній функції провести заміну $p = j\omega$ ($j = \sqrt{-1}$, ω - частота), виділити дійсну $P(\omega)$ і уявну $Q(\omega)$ частини та, змінюючи частоту від 0 до ∞ , відкласти відповідні значення:

$$W_p(\omega) = \frac{k \cdot ((T_3 T_0 T_2 + (T_3 + T_0) T_1^2) \omega^4 - (T_3 + T_0 + T_2) \omega^2) -}{((T_3 T_0 T_2 + (T_3 + T_0) T_1^2) \omega^4 - (T_3 + T_0 + T_2) \omega^2)^2 +} \\ - j \cdot \frac{(T_3 T_0 T_1^2 \omega^5 - (T_3 T_0 + (T_3 + T_0) T_2 + T_1^2) \omega^3 + \omega)}{(T_3 T_0 T_1^2 \omega^5 - (T_3 T_0 + (T_3 + T_0) T_2 + T_1^2) \omega^3 + \omega)^2}$$

$$P(\omega) = \frac{k \cdot ((T_3 T_0 T_2 + (T_3 + T_0) T_1^2) \omega^4 - (T_3 + T_0 + T_2) \omega^2)}{((T_3 T_0 T_2 + (T_3 + T_0) T_1^2) \omega^4 - (T_3 + T_0 + T_2) \omega^2)^2 + (T_3 T_0 T_1^2 \omega^5 - (T_3 T_0 + (T_3 + T_0) T_2 + T_1^2) \omega^3 + \omega)^2};$$

$$Q(\omega) = \frac{-k \cdot (T_3 T_0 T_1^2 \omega^5 - (T_3 T_0 + (T_3 + T_0) T_2 + T_1^2) \omega^3 + \omega)}{((T_3 T_0 T_2 + (T_3 + T_0) T_1^2) \omega^4 - (T_3 + T_0 + T_2) \omega^2)^2 + (T_3 T_0 T_1^2 \omega^5 - (T_3 T_0 + (T_3 + T_0) T_2 + T_1^2) \omega^3 + \omega)^2}.$$

За допомогою математичного редактора MatCad, підставивши значення коефіцієнтів підсилення та сталих часу динамічних ланок, побудуємо графік амплітудно-фазової частотної характеристики розімкнутої системи (наведено на шостому кресленні графічної частини).

В результаті робимо висновок, що за критерієм Найквіста-Михайлова система стійка і запас стійкості за модулем $Z_M = 0,22$ (відстань від точки перетину графіком АФЧХ від'ємної дійсної вісі до точки з координатами $[-1; j0]$); за фазою – $Z_\Phi = 2,7^\circ$ (кут між вектором, проведеним з початку координат до точки перетину графіка АФЧХ з колом одиничного радіусу та від'ємною дійсною віссю).

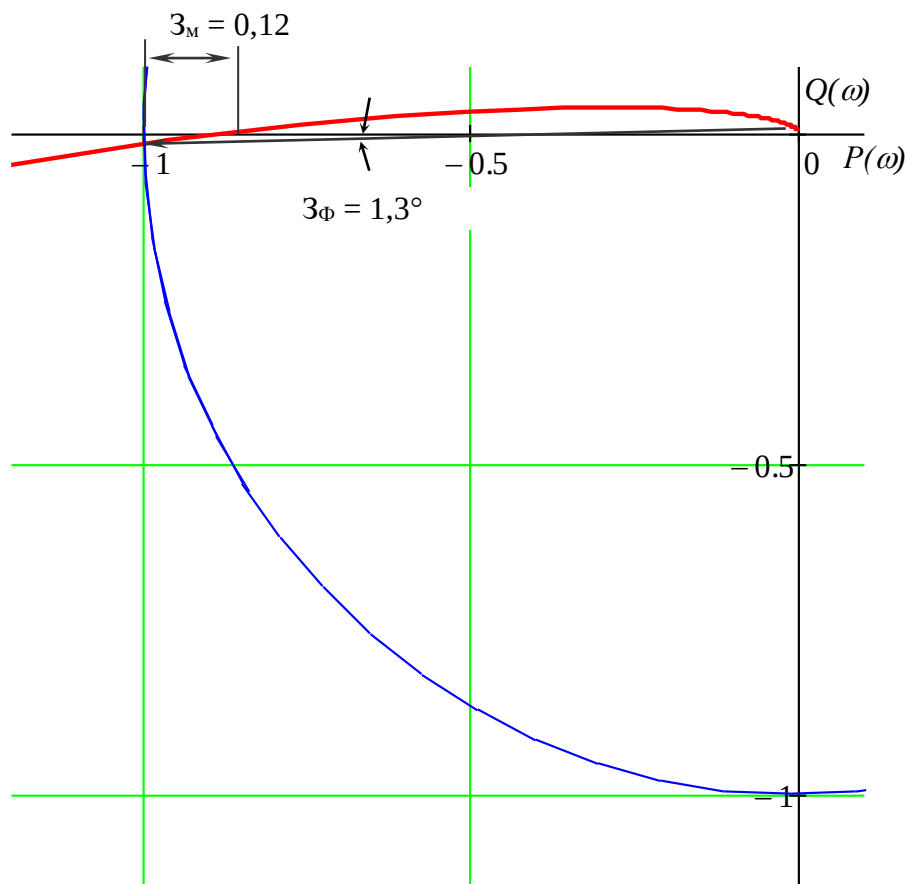


Рисунок 4.8 – Визначення запасів стійкості за модулем і фазою за допомогою частотного критерію Найквіста-Михайлова

4.2.3 Побудова ЛАЧХ розімкнутої системи

Для побудови ЛАЧХ за допомогою асимптотичного методу передусім потрібно знайти спрягаючі частоти за сталими часу динамічних ланок:

$$\omega_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{10} = 0,1 \text{ с}^{-1}, \text{ належить аперіодичній ланці};$$

$$\omega_1 = \frac{1}{T_1} = \frac{1}{0,02} = 50,0 \text{ с}^{-1}, \text{ належить консервативній ланці};$$

$$\omega_3 = \frac{1}{T_3} = \frac{1}{0,1} = 10,0 \text{ с}^{-1}, \text{ належить аперіодичній ланці}$$

Знайдені спрягаючі частоти відмічаємо на осі частот в логарифмічному масштабі. Низькочастотна асимптота ЛАЧХ при $\omega < \omega_0$ являє собою пряму з нахилом -20 дБ/дек, так як система містить інтегруючу динамічну ланку. Ця пряма або її продовження при $\omega=1$ повинна мати ординату, яка дорівнює $20 \lg k = 15,8$ дБ ($k = 6,192$ – коефіцієнт підсилення розімкнутої системи).

Після спрягаючої частоти ω_0 нахил характеристики $L(\omega)$ змінюється порівняно з попереднім значенням на -20 дБ/дек, так як ця частота належить аперіодичній динамічній ланці першого порядку, після спрягаючої частоти ω_1 нахил характеристики $L(\omega)$ змінюється порівняно з попереднім значенням на -40 дБ/дек, так як ця частота належить консервативній динамічній ланці, після спрягаючої частоти ω_2 нахил характеристики $L(\omega)$ змінюється порівняно з попереднім значенням на -20 дБ/дек, так як ця частота належить аперіодичній динамічній ланці першого порядку. Високочастотна асимптота ЛАЧХ, тобто її частина при частотах, більших ω_2 , має нахил -100 дБ/дек (наведено на шостому кресленні графічної частини).

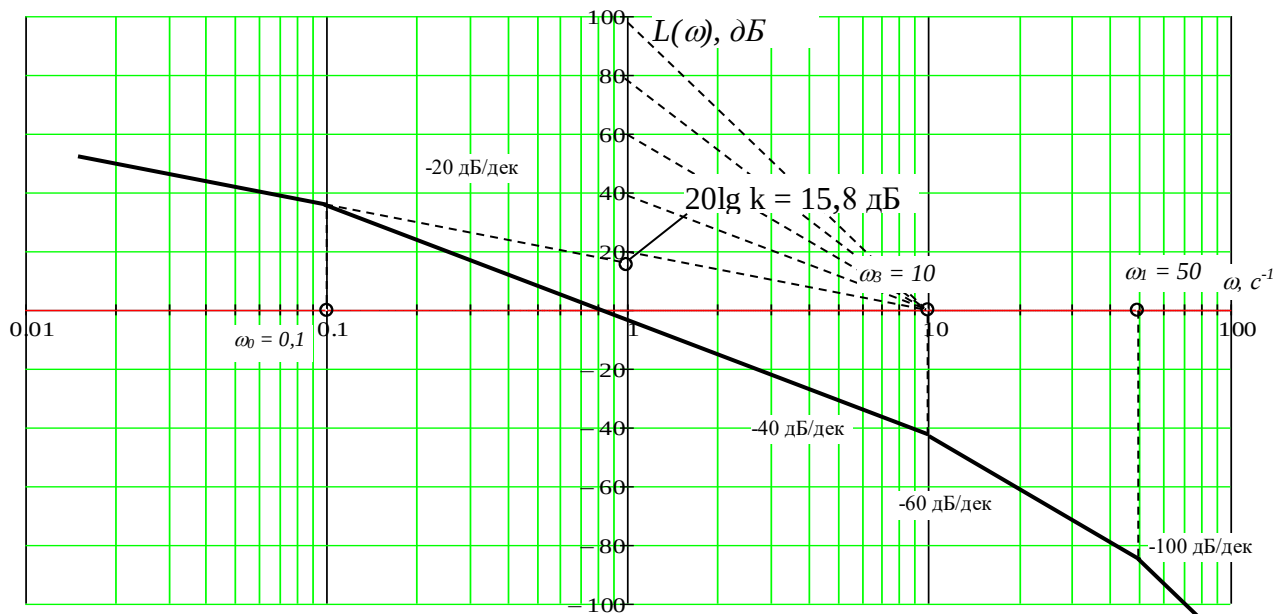


Рисунок 4.9 – ЛАЧХ розімкнутої системи $L(\omega)$

4.2.4 Побудова ЛФЧХ розімкнутої системи

ЛФЧХ одноконтурної розімкнутої системи отримується в результаті простого складання ординат фазових характеристик типових ланок, що входять до складу даної системи:

$$\phi(\omega) = \left(-\arctg(\omega T_0) - \arctg(\omega T_3) - \frac{\pi}{2} - \arctg(\omega T_1) - \arctg(\omega T_1) - \frac{\pi}{2} \right) \cdot \frac{180}{\pi} \quad (4.7)$$

Підставимо сталі часу динамічних ланок та, змінюючи частоту від 0 до (теоретично) ∞ , отримаємо графік ЛФЧХ (рис. 4.10), частоту відкладатимемо в логарифмічному масштабі (наведено на шостому кресленні графічної частини).

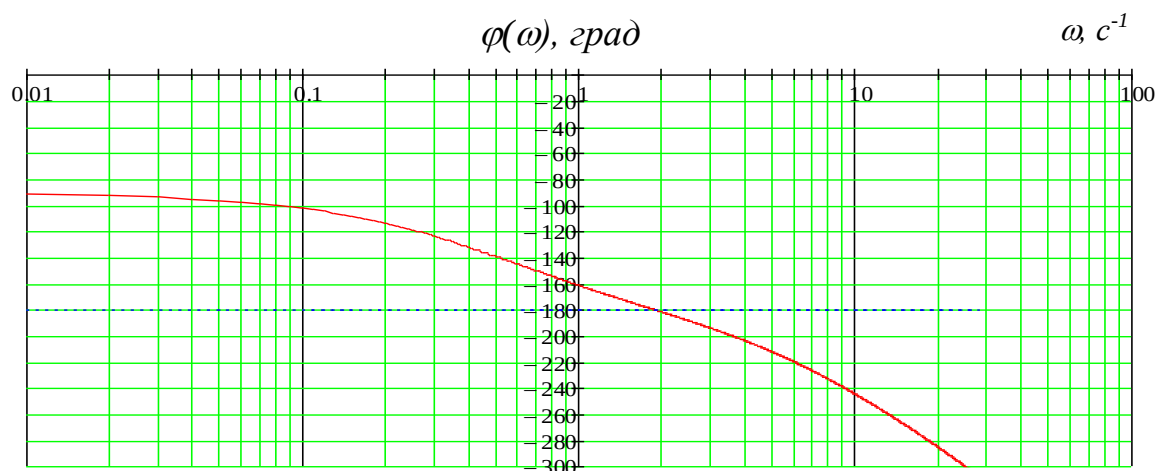


Рисунок 4.10 – ЛАЧХ розімкнутої системи $\phi(\omega)$

4.3 Оцінка якості регулювання замкнутої САР по ЛАЧХ розімкнутої системи

Оцінка якості регулювання замкнутої САР полягає в визначенні запасу стійкості (по модулю і фазі), та частоти зрізу. Для визначення цих величин будуємо ЛАЧХ і ЛФЧХ розімкненої системи, при чому виконуємо їх взаємне розміщення (рис. 4.11) (наведено на шостому кресленні графічної частини).

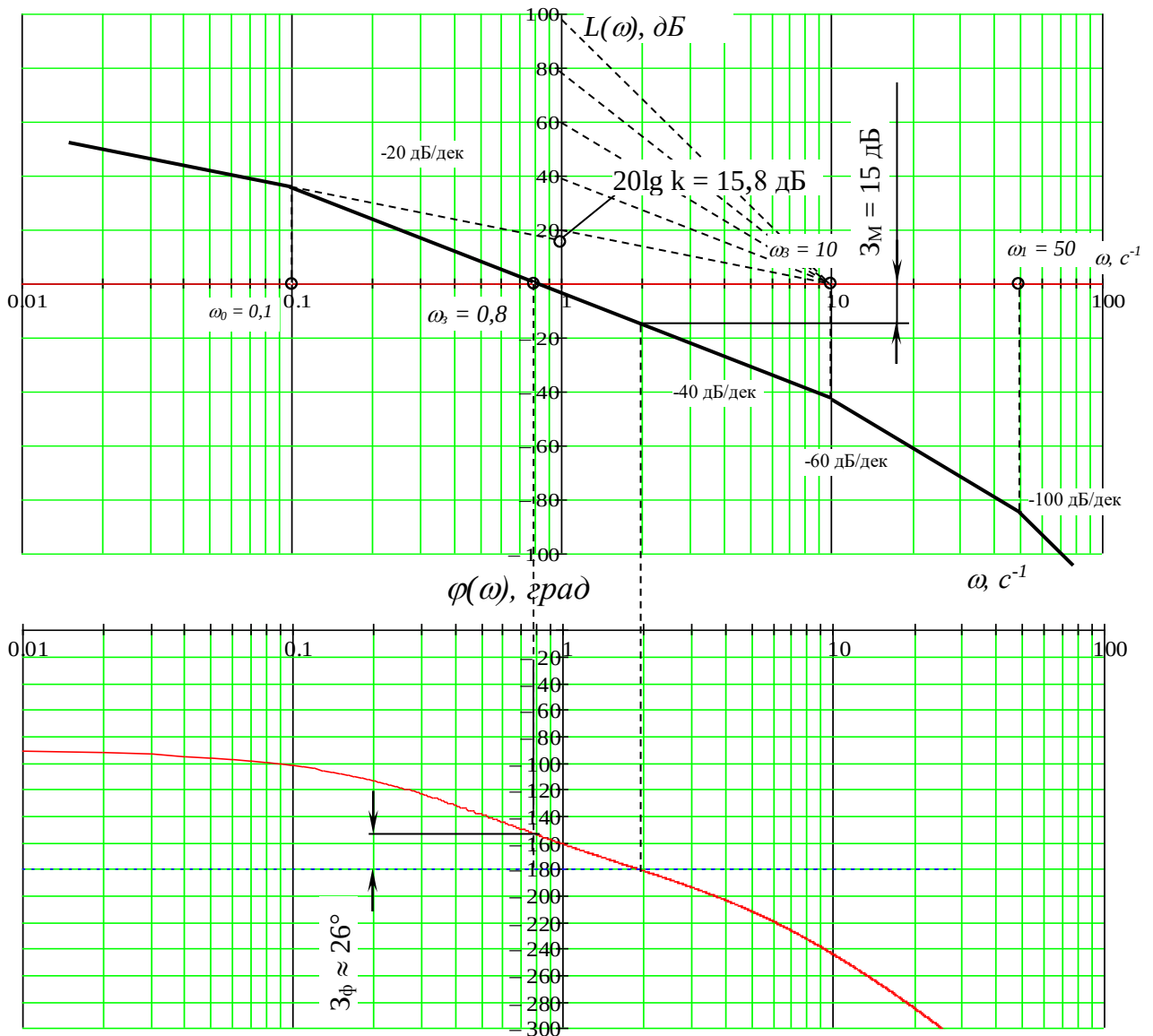


Рисунок 4.11 – Оцінка якості регулювання замкнутої САР по ЛАЧХ розімкнутої системи

З даної побудови можна визначити: частота зрізу $\omega_z = 0,8 \text{ c}^{-1}$, звідки можна визначити час регулювання, поставивши систему в жорсткі умови, $t_p = \frac{2\pi}{\omega_z} = 7,9 \text{ c}$; запас стійкості по амплітуді $Z_M \approx 15 \text{ дБ}$, запас стійкості по фазі $Z_\phi \approx 26^\circ$.

4.4 Оцінка якості вихідної системи

4.4.1 Побудова перехідного процесу замкнутої системи

Регульована величина в часі при подачі на вхід системи одиничного ступінчастого діяння описується залежністю

$$h(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} P_3(\omega) \frac{\sin(\omega t)}{\omega} d\omega. \quad (4.8)$$

Підставляючи відповідні значення, отримаємо наступний графік (рис. 4.12).

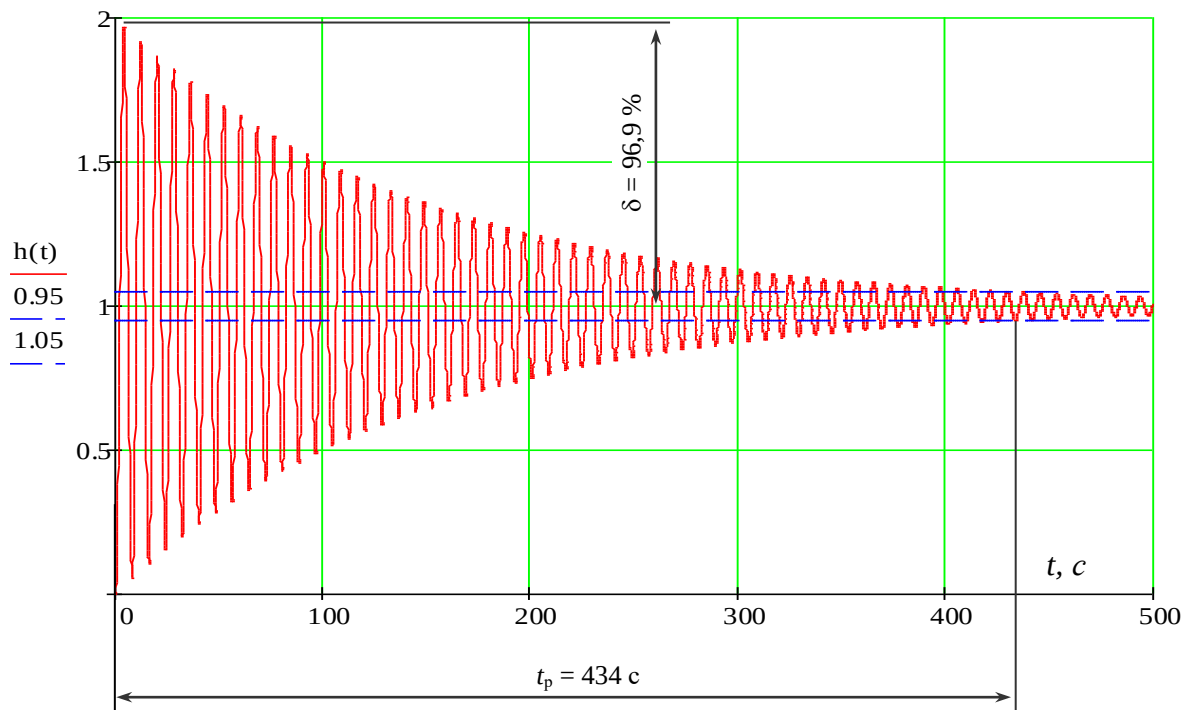


Рисунок 4.12 – Графік перехідного процесу вихідної системи

Для визначення деяких показників якості слід збільшити початкову ділянку графіка, яка і наведена на рис. 4.13.

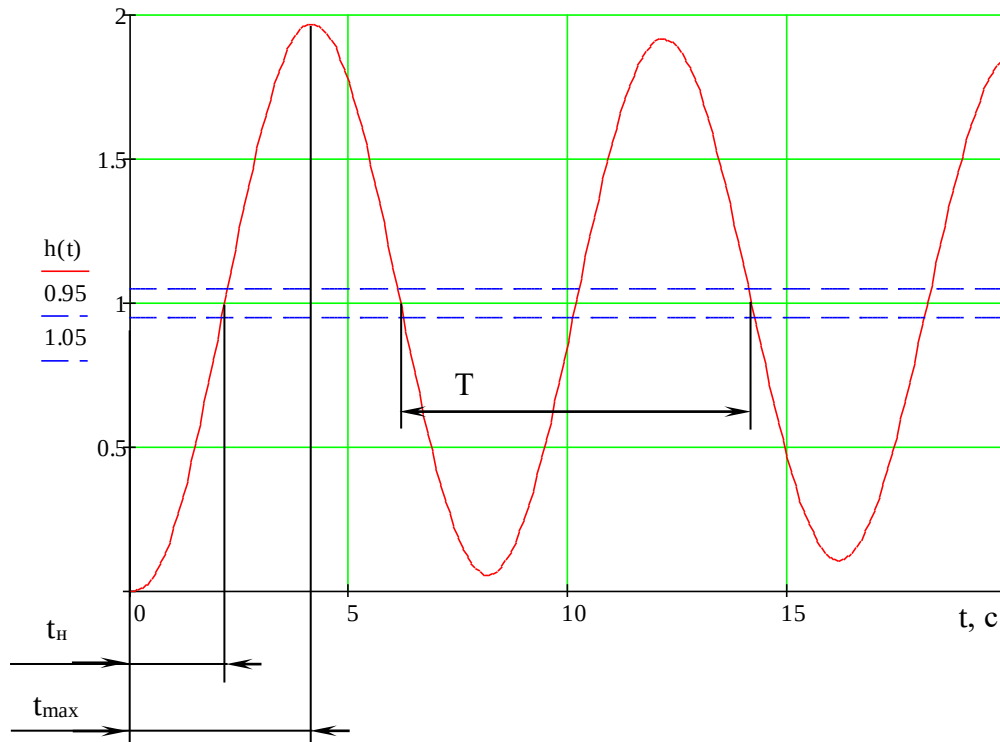


Рисунок 4.13 – Збільшений графік перехідного процесу вихідної системи

4.4.2 Визначення прямих показників якості САР. Визначення часу регулювання системи як вимоги до САР для її аналізу та синтезу

З побудованого перехідного процесу можна визначити наступні прямі показники якості САР:

- час регулювання $t_p = 434$ с – це час від початку дії вхідного діяння до входження системи в зону 2Δ , він залежить від швидкодії динамічних ланок та від їх кількості в головному контурі; через те, що до системи ставляться жорсткі вимоги, то даний параметр, як вимога до САР для її аналізу та синтезу, приймається рівним часу регулювання, визначеному по ЛАЧХ розімкнутої системи, зменшеному на 25 %, адже його значення є меншим, ніж отримане з графіка перехідного процесу, отже $t_p = 5,93$ с;
- перерегулювання $\delta = 96,9$ %;
- частота коливань $\omega = \frac{2\pi}{T} = 0,79$ с⁻¹, де $T = 8$ с – період коливань;
- кількість коливань перехідного процесу $n = 53$;

- час досягнення першого максимуму $t_{\max 1} = 4,2$ с;
- час наростання перехідного процесу $t_n = 2,1$ с – це час досягнення вихідною величиною усталеного значення;
- декремент затухання перехідного процесу характеризує затухання перехідного процесу, це відношення відхилень сусідніх коливань $d = 1,05$.

Згідно вимог до системи, час регулювання для проведення її аналізу та синтезу приймається зменшеним на 25 % від отриманого, для розрахунків приймемо час регулювання, визначений по ЛАЧХ через ω_s , тобто $t_p = 7,9$ с. Зменшимо t_p на 25 %, отримаємо $t_p = 5,93$ с. Цим ми поставимо ще більш жорсткі умови.

4.5 Побудова бажаної ЛАЧХ розімкнутої оптимальної за швидкодією системи по вимогам, які пред'явлені до неї

Вимоги до синтезуємої САР: час регулювання $t_p = 5,93$ с; максимальне перерегулювання $\delta = 25$ %; запас стійкості за модулем не менше 15 дБ; за фазою не менше 30° . Для синтезу САР необхідно побудувати вихідну ЛАЧХ розімкнутої системи, бажану ЛАЧХ та ЛАЧХ коректуючого пристрою.

Побудова бажаної ЛАЧХ виконується в кілька етапів (рис. 4.14).

Побудова в області низьких частот аналогічна до побудови ЛАЧХ незмінної системи. Тобто проводиться асимптота з нахилом -20 дБ/дек через точку з координатами $20 \lg k = 15,8$ дБ.

Побудова в області середніх частот – це найбільш відповідальна асимптота. В даному діапазоні ЛАЧХ визначається заданими значеннями перерегулювання та тривалістю перехідного процесу. З міркувань наближення реального процесу до оптимального (за швидкодією) нахил середньої частотної асимптоти бажаної ЛАЧХ вибирається -20 дБ/дек. Вибір частоти зрізу ω_s (частота, при якій ЛАЧХ перетинає вісь частот) виконують на підставі нерівності $\omega_{s \min} \leq \omega_s \leq \omega_{s \max}$. Для того, щоб задовольнити вимоги до якості системи, необхідно, щоб ω_s була менше частоти зрізу

$\omega_{3.0nm}$, яка визначається за максимальним прискоренням координати і величиною керуючого ступінчатого сигналу. Крім того дана частота ω_3 повинна бути більше ω_{3min} , яка вибирається за заданим значенням максимального пере регулювання δ_m та тривалістю регулювання t_p . По заданому значенню δ_m за допомогою кривої $\delta = f(P_{3max})$ номограми [5] визначаємо відповідне значення P_{3max} . Потім по значенню P_{3max} за допомогою кривої $t_p = f(P_{3max})$ визначаємо значення $\frac{3\pi}{t_p}$. Цю величину прирівнюємо до заданого значення $t_p = 5,93$ с і з отриманого рівняння визначаємо частоту зрізу $\omega_{3min} = 1,6$ с⁻¹.

Вибрану частоту зрізу $\omega_3 = 2$ с⁻¹ (дещо збільшену), наносимо на графік. Потім будуємо середньочастотну асимптоту, провівши її через точку ω_3 на осі абсцис з нахилом -20 дБ/дек (наведено на шостому кресленні графічної частини).

По відомому значенню $P_{3max} = 1,2$ дійсної частотної характеристики знаходимо мінімальне значення P_{3min} , використовуючи наближене співвідношення для типової дійсної частотної характеристики $P_{3min} = 1 - P_{3max} = -0,2$.

Для забезпечення необхідного запасу стійкості системи по амплітуді і фазі треба продовжити середньочастотну асимптоту ліворуч і праворуч на певну величину. Запаси стійкості знаходять по номограмам $L(\omega) = f(\varphi)$ при P_3 дорівнює константі – це колові діаграми, P_3 – значення дійсної частотної характеристики замкнутої системи. Отже по номограмі знаходимо лінії, які відповідають $P_{3max} = 1,2$ і $P_{3min} = -0,2$. Ці криві симетричні відносно осі абсцис. Запас стійкості по амплітуді знайдемо, провівши до цих кривих горизонтальні дотичні і прочитавши відповіді на осі ординат, $L_1 = 15$ дБ, $L_2 = -15$ дБ, тобто середньочастотну асимптоту треба продовжити ліворуч і праворуч до ординат L_1 та L_2 і лише після цього спрягати з сусідніми ділянками [7].

Запас стійкості по фазі γ знайдемо, провівши вертикальні дотичні до кривих $P_{3max} = 1,2$ і $P_{3min} = -0,2$ і відрахувавши значення кута в градусах від дотичної до лінії -180°. В даному випадку $\gamma = 45^\circ$ [7], [8].

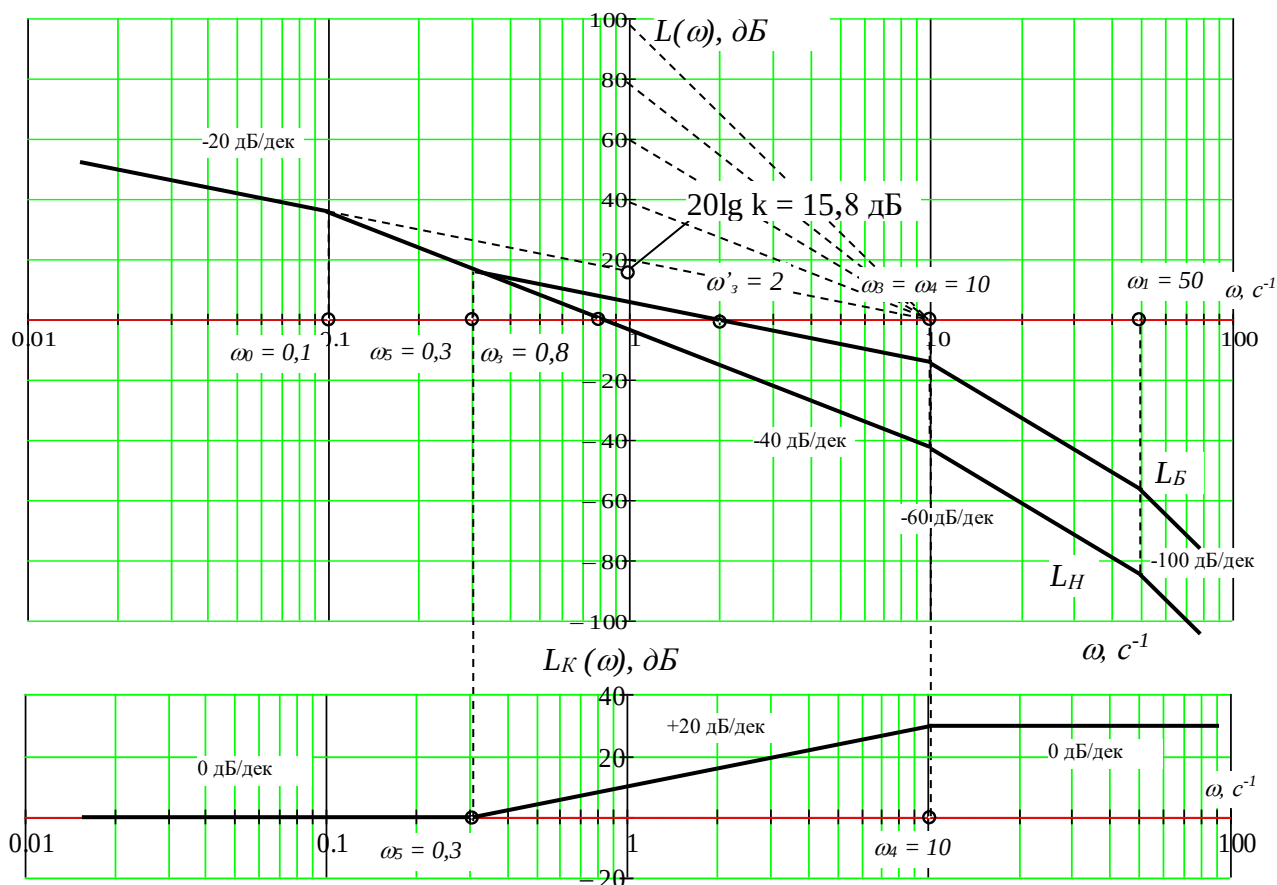


Рисунок 4.14 – Побудова бажаної ЛАЧХ та визначення ЛАЧХ коректуючого пристрою

4.6 Синтез коректуючого пристрою САР за логарифмічними частотними характеристиками

ЛАЧХ коректуючого пристрою визначаємо як різницю бажаної та незмінної ЛАЧХ $L_k(\omega) = L_d(\omega) - L_n(\omega)$ (рис. 4.14). За виглядом ЛАЧХ коректуючого пристрою обираємо схему коректуючої ланки (рис. 4.15) і записуємо її передаточну функцію [6].

Передаточна функція такого чотиріполюсника у загальному вигляді:

$$W_{kl}(p) = \frac{k(T_5 p + 1)}{(T_4 p + 1)}$$

де $T_4 = 1/\omega_4 = 1/10 = 0,1$ с;

$$T_5 = 1/\omega_5 = 1/0,3 = 3,33 \text{ с}$$

Підставивши у рівняння загального виду сталі часу, матимемо передаточну функцію коректуючого пристрою:

$$W_{kn}(p) = \frac{1 \cdot (3,33p + 1)}{(0,1p + 1)}$$

Обчислюємо параметри R_1 , R_2 , C схеми коректуючої ланки за формулами [6]:

$$k = \frac{R_2}{R_2 + R_1}; T_5 = R_1 C; T_4 = k \cdot T_5 = \frac{R_1 R_2 C}{R_1 + R_2}$$

Для отримання номіналів елементів коректуючого пристрою задавшись $C = 2 \times 10^{-6} = 2 \text{ мкФ}$, отримано такі значення опорів:

$$R_1 = T_5 / C = 3,33 / 2 \times 10^{-6} = 1,67 \times 10^6 = 167 \text{ кОм.}$$

$$\text{Далі, через те, що } k = T_4 / T_5 = 0,1 / 3,33 = 0,03 \text{ і } k = \frac{R_2}{R_2 + R_1},$$

$$R_2 = \frac{k R_1}{1 - k} = \frac{0,03 \cdot 1,67 \times 10^6}{1 - 0,03} = 51,7 \times 10^3 \approx 52 \text{ кОм.}$$

Вибираємо номінали резисторів зі стандартного ряду опорів $R_1 = 180 \text{ кОм}$, $R_2 = 56 \text{ кОм}$.

Вибрана коректуюча ланка є активним чотириполюсником. Для забезпечення $k = 1$ необхідно прийняти $R_{зв.з} = R_1 + R_2 \approx 236 \text{ кОм}$. Зі стандартного ряду опорів приймаємо $R_{зв.з}$ номіналом 240 кОм .

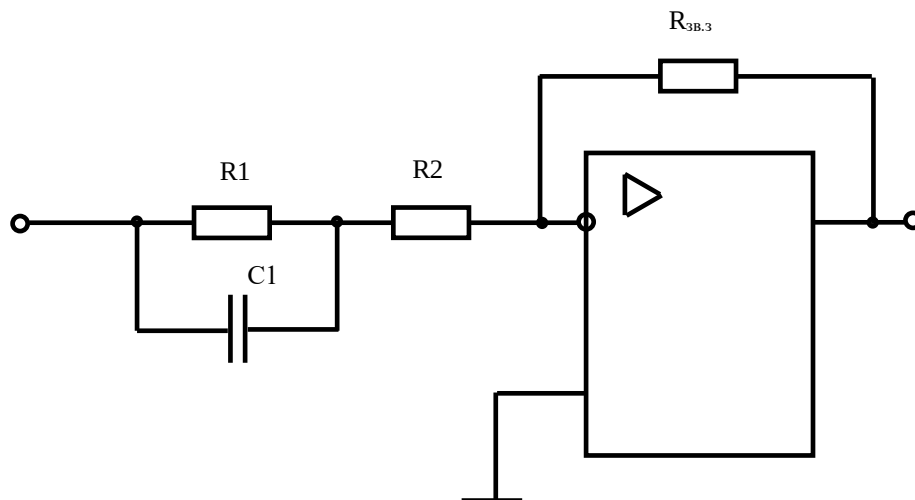


Рисунок 4.15 – Схема коректуючого пристрою.

4.7 Побудова кривої перехідного процесу синтезованої САР

Запишемо передаточну функцію замкнутої скорегованої системи

$$W_{\text{зк}}(p) = \frac{k(T_5 p + 1)}{p(T_3 p + 1)(T_0 p + 1)(T_1^2 p^2 + T_2 p + 1)(T_4 p + 1) + k(T_5 p + 1)} \cdot \quad (4.9)$$

Провівши заміну $p = j\omega$, виділимо дійсну частину передаточної функції замкнутої скорегованої системи засобами математичного редактора MatCad, для чого введемо оператор

$$P(\omega) := \text{Re}(W_{\text{зк}}(p)),$$

що дасть змогу визначити дійсну частотну характеристику та побудувати графік перехідного процесу синтезованої САР (рис. 4.16).

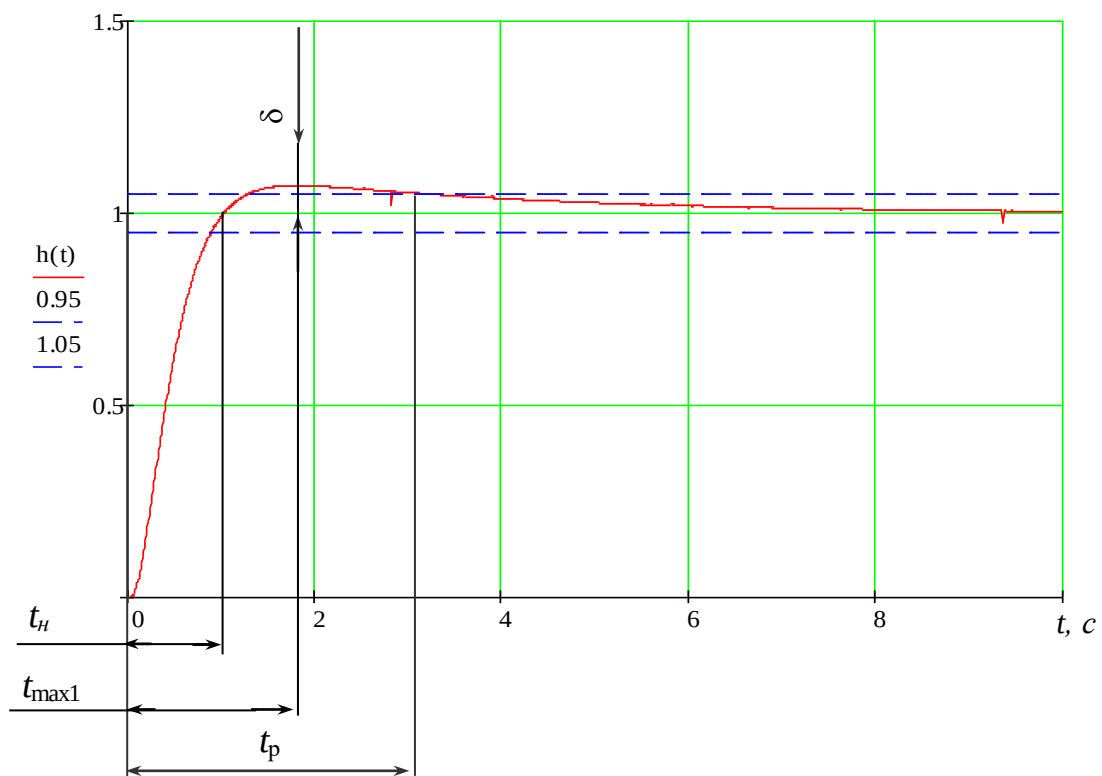


Рисунок 4.16 – Графік перехідного процесу системи, розробленої шляхом синтезу

За побудованим графіком перехідного процесу визначимо прямі показники якості синтезованої САР:

- час регулювання $t_p = 3,23$ с;
- перерегулювання $\delta = 7,2$ %;
- час досягнення першого максимуму $t_{\max} = 1,8$ с;
- час наростання перехідного процесу $t_n = 1,0$ с;
- перехідний процес аперіодичний з перерегулюванням (на відміну від перехідного процесу вихідної системи).

Порівняння перехідних процесів вихідної системи та скорегованої методом синтезу представлені на кресленні наведено на цьому кресленні графічної частини.

Підсумовуючи проведені розрахунки, можна стверджувати, що створена система керування тиском у випарному апараті випарної станції задовольняє заданим вимогам по швидкодії та запасам стійкості за модулем і фазою, при цьому проведено синтез коректуючого пристрою.

Застосування обох підходів дає можливість отримати передаточну функцію послідовного коректуючого пристрою, введення якого у вихідну систему дозволить покращити її показники якості, при цьому скоректована система матиме вищу швидкодію, більші запаси по амплітуді та по фазі, ніж вихідна САР, а на отримання найкращого результату затрачено незначна кількість часу.

5 ОПИС ОРГАНІЗАЦІЇ РОБІТ, ПОВ'ЯЗАНИХ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТИСКОМ У ВИПАРНОМУ АПАРАТІ ВИПАРНОЇ СТАНЦІЇ

5.1 Монтаж системи керування тиском у випарному апараті випарної станції

Розміщення вузлів у шафі КК 42.02. Монтаж мікропроцесорного блока та інших вузлів здійснюється з врахуванням зручності обслуговування при налагоджуванні і ремонті системи, а також з врахуванням можливості розміщення в шафі додаткових блоків при розширенні функціональних можливостей даної системи, зокрема блоків вимірювання температури, рівня сиропу та інших.

При нормальних експлуатаційних умовах прилади в шафі можуть працювати безперервно довгий час. Але на випарній станції шафа встановлюється безпосередньо поблизу випарних апаратів і для запобігання різного роду вібрацій, які можуть привести до порушення електричних контактів та зміни налагодження елементів і вузлів системи, її необхідно встановлювати на амортизаторах. Вологе повітря, пил та бруд понижують опір ізоляції, порушуючи нормальний режим роботи приладів. Наявність в повітрі агресивних газів викликає окислення контактуючих поверхонь реохордів задавачів та контактів реле. Важливою завадою в роботі приладів є наявність сильних магнітних полів в місцях встановлення датчиків та вторинних пристроїв, а також в місцях прокладки з'єднувальних ліній від датчика до вторинного приладу [8].

Якщо в приміщенні повітря підвищеної вологості і вміщує багато пилу, то потрібно добре підігнати ущільнюючі прокладки та заглушити непотрібні отвори в корпусі шафи. При великій вологості повітря в середині корпусу шафи розташовують судину з хімічним осушувачем, який потрібно періодично герметично обробляти для збереження його якостей.

Потрібно також приділити увагу заземленню приладів, так як при поганій якості заземлення можуть з'явитися додаткові помилки в показах вторинних приладів. Не рекомендується використовувати в якості заземлення водопровідну та опалювальну системи. Розрахунок захисного заземлення приведений в розділі охорони праці [8].

Загальна лінія, від якої живляться силові електричні пристрої, знаходиться під впливом значних коливань напруги внаслідок змін навантаження. Поряд з цим в такій лінії мають місце перешкоди, викликані струмами високої частоти, що виникають при появі дугових розрядів в силових агрегатах. Тому напругу живлення до пристроїв бажано подавати від спеціальних ліній. Підключення приладів до мережі в ряді випадків проводиться через розподільчі трансформатори. Один кінець вторинної обмотки розподільчого трансформатора повинен бути заземлений, з метою усунення наводок промислової частоти на вихідні ланцюги електронного приладу. Ця обставина особливо важлива для приладів з високоомним входом і для приладів, вимірювальні схеми яких живляться від мережних стабілізованих джерел. Розподільчий трансформатор повинен мати достатній запас потужності. Перевантаження трансформатора викликає зменшення напруги вторинної обмотки, а також спотворення форми кривої струму. Підключення розподільчого трансформатора до мережі повинно виконуватись через двополюсний рубильник і плавкі запобіжники. Не допускається включення приладів в мережу через автотрансформатор, бо він не захищає від перешкод, а у випадку застосування понижуючого автотрансформатора обривання його обмотки призводить до подачі повної напруги мережі на прилад [2].

Підведення напруги до шафи виконується дротом з прорезиненою водонепроникною ізоляцією. Діаметр дротів повинен бути не менше 1 мм^2 . З метою запобігання механічного пошкодження дротів рекомендується прокладати їх в гнучких металевих шлангах або трубах, які повинні бути надійно заземлені. Вводи дротів до шафи герметизуються за допомогою спеціальних ущільнюючих

втулок. Потрібно уникати нарощування дротів, а в разі нарощування, місця стиків необхідно обов'язково пропаяти. Після завершення прокладання дротів необхідно провести перевірку опору ізоляції по відношенню до землі, він повинен бути не менше 10 МОм. Вимоги, що ставляться до дротів, які з'єднують датчики із вторинним приладом, залежать від типу датчиків та приладу. Загальною вимогою до більшості приладів є прокладення дротів від датчика до приладу в сталевих захисних трубках, обов'язково окремо від дротів мережі.

5.2 Налагоджування системи керування тиском у випарному апараті випарної станції

Перевірку неушкодженості блоків необхідно проводити перед монтажем, під час профілактичного ремонту та при виявленні пошкоджень під час роботи приладу. Перевірці підлягають: основна похибка спрацювання вторинного приладу, основна похибка запису, варіація та поріг чутливості приладу, робота механізму установки робочого струму, сигналізація “обривання в ланцюзі приладу”, рівень перешкод на вході електронного підсилювача, ступінь нагріву деталей при тривалій роботі приладу. Перевірка приладів повинна проводитись при таких умовах: температура навколишнього повітря $20 \pm 5^\circ\text{C}$, напруга живлення не повинна відрізнятись від номінальної більш ніж на $\pm 3\%$, частота струму живлення $50 \pm 0,5$ Гц, при відсутності сторонніх магнітних полів.

5.3 Експлуатація системи керування тиском у випарному апараті випарної станції

При умовах правильної експлуатації автоматичні електронні прилади можуть працювати надійно та безперервно дуже довгий час. Під час експлуатації приладів необхідно стежити за тим, щоб умови, які вважаються нормальними для роботи приладу збереглися під час всього строку служби. Не допускати коливання напруги живлення мережі вище допустимих границь.

При підвищенні температури понад 40°C, необхідно збільшити вентиляцію приміщення. При холоді необхідно слідкувати за опаленням приміщення. В приміщеннях, запилених та із збільшеною вологістю, необхідно слідкувати за станом ущільнювачів, у випадку застосування хімічних сушників необхідно контролювати їх активність [5].

Частини вузлів, які труться, потрібно систематично змащувати. Строки та способи змащування вказані в заводських інструкціях. В процесі експлуатації необхідно систематично проводити огляд та планово-попереджувальний ремонт приладів. При огляді блоки знімаються із шафи та відправляються в майстерню, де звільняються від пилу та бруду за допомогою ганчірки та продувкою повітрям. Проводиться огляд всієї електропроводки, перевіряється надійність затискувачів. Після видалення всіх наявних неполадок та перевірки блоків на правильність роботи встановлюють їх в шафу.

Розроблювана система керування тиском у випарному апараті випарної станції є простою і надійною в експлуатації. Звичайно, експлуатація системи передбачає, що оператор випарної станції детально знає технологічний процес на даній ділянці і практично відчуває його хід, адже попри те, що розроблювана система автоматично підтримує тиск пари, вона вимагає від оператора введення певного значення даного технологічного параметра, яке вона і буде підтримувати. Оператор, який володіє поняттям фізичних змін технологічних параметрів і відчуттям процесу з легкістю зможе налаштувати випарювання сиропу і вивести його на оптимальний режим шляхом поетапного задавання тиску, відстеження змін і встановлювання нового завдання. Звичайно ж межі встановлення тиску пари обумовлені технологічною інструкцією та іншими нормативними документами, що регламентують хід технологічного процесу, дотримування яких гарантує не виникнення аварійної ситуації та вихід з ладу обладнання.

Отже в даному розділі здійснено огляд заходів по монтажу, налагоджуванню та експлуатації системи керування тиском у випарному апараті випарної станції.

ВИСНОВКИ

У випускній кваліфікаційній роботі пропонується варіант вирішення частинної задачі автоматизації процесу випарювання сиропу в процесі виробництва цукру. Впровадження системи керування тиском у випарному апараті випарної станції дозволить інтенсифікувати процес випарювання води із соків цукрового виробництва і поліпшити якість кінцевого продукту. Застосування сучасних мікропроцесорних засобів для обробки технологічної інформації та вироблення керуючого сигналу полегшить вирішення поставлених завдань.

Для розв'язання поставленої задачі розглянуто призначення та область застосування системи регулювання тиску в процесі випарювання сиропу при виробництві цукру, зокрема окреслено розвиток цукрової галузі, досліджена історія розвитку цукрової промисловості в Україні та її стан. Здійснено загальний опис процесу виробництва цукру на цукровому заводі, в рамках якого розглянуті всі етапи виробництва від надходження буряку на склади до пакування готового продукту. Також розглянута технологічна схема ЗАТ “Новомиргород цукор”. В процесі роботи акцент зроблено на технологічному процесі випарювання, з'ясована його значимість. Все це дало можливість остаточно сформулювати задачі і мету роботи над проектом.

В процесі роботи над проектом здійснено огляд обладнання задіяного в технологічному процесі випарювання соку, зокрема розглянуто загальні відомості про апарати для випарювання соку, їх конструкції, здійснено огляд засобів автоматизації процесу випарювання соку та окреслені фактори, що суттєво впливають на роботу випарної установки.

Все це дало можливість поставити вимоги до системи керування тиском у випарному апараті випарної станції цукрового заводу.

В проекті також представлено аналіз засобів автоматизації цукрового виробництва, наведена узагальнена схема автоматизації технології випарювання сиропу, розглянуто процеси регулювання рівня соку у випарних апаратах та

згущення соку, обґрунтовано доцільність багаторазового використання пари при випарюванні соку. Це дало можливість розробити функціональну та структурну схеми системи керування тиском у випарному апараті випарної станції, визначити передаточні функції розімкнутої, замкнутої системи та характеристичного рівняння, а також розробити схеми електричні принципові реалізації САР тиску випарної станції.

Проведені розрахунки доводять, що створена система керування тиском у випарному апараті випарної станції задовольняє заданим вимогам по швидкодії та запасам стійкості за модулем і фазою, при цьому проведено аналіз САР та синтез коректуючого пристрою до неї.

Застосування обох підходів дає можливість отримати передаточну функцію послідовного коректуючого пристрою, введення якого у вихідну систему дозволить покращити її показники якості, при цьому в обох випадках скоректована система матиме вищу швидкодію, більші запаси по амплітуді та по фазі, ніж вихідна САР. Однак, порівнюючи показники якості вихідної системи та показники якості системи, отримані в результаті проведених розрахунків, приходимо до висновку, що кращі результати дає метод синтезу, в результаті якого система повністю задовольняє поставленим вимогам, а на отримання найкращого результату затрачено значно менше часу.

В проекті здійснено огляд заходів по монтажу, налагоджуванню та експлуатації САР тиску випарної станції.

Також розглянуті заходи з охорони праці, зокрема окреслена законодавча та нормативна база України про охорону праці проаналізовані умови праці, небезпечні і шкідливі виробничі чинники.

Перелік скорочень, символів та спеціальних термінів

САР – система автоматичного регулювання;
САК – система автоматичного керування;
ВУ – випарна установка;
ВС – випарна станція;
КВП – контрольно-вимірювальні прилади;
ЛСА – локальна система автоматики;
КОК – контрольно-обчислювальний блок;
АЦП – аналого-цифровий перетворювач;
ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач;
ВБ – вимірювальний блок;
МК – мікроконтролер;
ПП – підсилювач потужності;
ОР – об'єкт регулювання;
ДТ – датчик тиску;
ЛАЧХ – логарифмічна амплітудно-частотна характеристика;
АФЧХ – амплітудно-фазова частотна характеристика;
ЛФЧХ – логарифмічна фазова-частотна характеристика;
ТУ – технічні умови;
ІМС – інтегральна мікросхема;
РЕА – радіоелектронна апаратура;
ДНАОП – державні нормативні акти про охорону праці;
САННіП – санітарні норми і права;
БНіП – будівельні норми і правила;
ПУЕ – правила улаштування електроустановок;
НДДКР – науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи.

Список літератури

1. Парубок О.Н., Куянов В.В., Мацебера А.Г. Куди дівається український цукор? //Цукор України. – 2003. – №. 3 (33). – С. 2 – 4.
2. Петриченко О.Б., Мінко В.П., Штангеев В.О. Проблеми ринку українського цукру //Цукор України. – 2003. – № 1 (31). – С. 2 – 4.
3. Борисюк П.Г. Стан і завдання бурякоцукрової галузі України // Цукор України, 2003. – № 4 – 5 (34). – С. 2 – 4.
4. Кондратець В.О. Автоматика та автоматизація виробництва сільськогосподарських машин. ч.1. - Київ: “Вища школа”, 1993. – 320 с.
5. Кондратець В.О. Теорія і технічні засоби систем: Підручник. – К.: Вища шк., 1993. – 319 с.
6. Бойко Н.П., Стеклов В.К. Системы автоматического управления на базе микро-ЭВМ. – К.: Техніка, 1989. – 182 с.
7. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування: Підручник. – К.: Либідь, 1997. – 544 с
8. Справочник по наладке автоматических устройств контроля и регулирования. - Киев: “Наукова думка”, 1981. – 940 с.
9. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці : підруч. 3-є вид., перероб і доп. Львів : УАД, 2006. 336 с.
10. Жидецький В. Ц., Джигирей В. С., Сторожук В. М., Туряб Л. В., Лико Х. І. Практикум з охорони праці. Львів : Афіша, 2000. 352 с.
11. Босов Є. П., Жесан Р. В., Каліч В. М., Голик О. П., Зубенко В. О. Охорона праці при проектуванні систем автоматизації виробництва : навч. посіб. 2-е вид., перероб. і доп. Кропивницький : ЦНТУ, 2022. 208 с.
12. Конституція України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/254%D0%BA/96-%D0%B2%D1%80> (дата звернення: 26.10.2022).
13. Про охорону праці : Закон України. URL:

<https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/2694-12#Text> (дата звернення: 24.10.2022).

14. Основи законодавства України про охорону здоров'я : Закон України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2801-12#Text> (дата звернення 17.11.2022).

15. Кодекс цивільного захисту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/5403-17#Text> (дата звернення: 28.10.2022).

16. Кодекс законів про працю України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/322-08#Text> (дата звернення: 20.11.2022).

17. Правила улаштування електроустановок : вид. офіц. К. : Міненерговугілля України, 2017. 617 с.

ДОДАТКИ

Додаток А **ОХОРОНА ПРАЦІ**

Законодавчі та нормативні акти України з питань охорони праці

Охорона праці (ОП) – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження здоров'я та працездатності людини в процесі праці [9].

Законодавчими актами, що визначають у нашій країні основні положення з ОП, є загальні Закони України, а також спеціальні юридичні акти [9, 10, 11].

До загальних законів, що відображають норми з ОП належать: Конституція України, Закони України: «Про охорону праці», «Основи законодавства України про охорону здоров'я», «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку», «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення», «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування», Кодекс цивільного захисту України (КЦЗ), Кодекс законів про працю України (КЗпП) [9, 11].

Спеціальними юридичними актами в галузі ОП є: Нормативно-правові акти з охорони праці (НПАОП), Міждержавні стандарти Системи стандартів безпеки праці (ГОСТ ССБТ), Державні стандарти України (ДСТУ), Державні будівельні норми (ДБН), Санітарні правила і норми (СанПіН), Правила улаштування електроустановок (ПУЕ), Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів (ПТЕЕС), норми технічного проектування та інші нормативні акти, виходячи із сфери їх дії [9, 10, 11].

В ст. 43 Конституції України записано: «Кожен має право на працю, що включає можливість заробляти собі на життя працею, яку він вільно обирає, або на яку вільно погоджується», «Кожен має право на належні, безпечні і здорові умови праці, на заробітну плату, не нижчу від визначеної законом», «Використання праці жінок і неповнолітніх на небезпечних для їхнього здоров'я

роботах забороняється» [12].

Кожен, хто працює, має право на відпочинок (ст. 45 Конституції України) [12]. Це право забезпечується наданням днів щотижневого відпочинку, а також оплачуваної щорічної відпустки, встановленням скороченого робочого дня щодо окремих професій і виробництв, скороченої тривалості роботи у нічний час.

У тексті ст. 46 Конституції України вказано на те, що громадяни мають право на соціальний захист, яке включає право на забезпечення їх у разі повної, часткової або тимчасової втрати працездатності, втрати годувальника, безробіття, з незалежних від них обставин, а також у старості та в інших випадках, передбачених законом [9, 12].

Основоположним законодавчим документом у галузі ОП є Закон України «Про охорону праці», прийнятий Верховною Радою України 14 жовтня 1992 року, дія якого поширюється на всі підприємства, установи і організації, незалежно від форм власності та видів їх діяльності, на усіх громадян, які працюють, а також залучені до праці на цих підприємствах [13].

Особливістю українського Закону, що регламентує правову основу ОП, є високий рівень прав та гарантій робітникам. Вперше в історії держави робітникам було надано право відмовлення від роботи у випадку існування на виробництві загрози для їхнього здоров'я та життя. Розширено права робітників у соціальних гарантіях відшкодування збитків у випадку пошкодження їх здоров'я на виробництві. Передбачається нова система фінансування ОП, формування системи страхування від нещасних випадків та профзахворювань, посилюється централізація планування. Договірне регулювання з питань ОП поставлено на високий рівень, передбачається участь громадських інституцій у цьому процесі. Законом України «Про охорону праці» закріплено за державою функції управління ОП [9, 13].

Закон України «Основи законодавства України про охорону здоров'я», прийнятий 19 листопада 1993 року (остання редакція від 27 жовтня 2022 року), визначає правові, організаційні, економічні та соціальні засади охорони здоров'я

в Україні, регулює суспільні відносини у цій сфері, з метою забезпечення гармонійного розвитку фізичних і духовних сил, високої працездатності і довголітнього активного життя громадян, усунення факторів, що шкідливо впливають на їх здоров'я, попередження і зниження захворюваності, інвалідності та смертності, поліпшення спадковості [14].

Закон України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку» є основоположним у ядерному законодавстві України. Він встановлює пріоритет безпеки людини та навколишнього природного середовища, права і обов'язки громадян у сфері використання ядерної енергії, регулює діяльність, пов'язану з використанням ядерних установок та джерел іонізуючого випромінювання, встановлює також правові основи міжнародних зобов'язань України щодо використання ядерної енергії [9, 11].

Закон України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення» (від 24 лютого 1994 року) регулює суспільні відносини, які виникають у сфері забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя, визначає відповідні права і обов'язки державних органів, підприємств, установ, організацій та громадян, встановлює порядок організації державної санітарно-епідеміологічної служби і здійснення державного санітарно-епідеміологічного нагляду в Україні [9, 10, 11].

Закон України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування» (від 23 вересня 1999 року) визначає правові, фінансові та організаційні засади загальнообов'язкового державного соціального страхування, гарантії працюючих громадян щодо їх соціального захисту у зв'язку з тимчасовою втратою працездатності, вагітністю та пологами, від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, охорони життя та здоров'я [11]. Страхування від нещасного випадку є самостійним видом загальнообов'язкового державного соціального страхування, за допомогою якого здійснюється соціальний захист, охорона життя та здоров'я громадян у процесі їх трудової діяльності.

КЦЗ України, від 2 жовтня 2012 року, регулює відносини, пов'язані із захистом населення, територій, навколишнього природного середовища та майна від надзвичайних ситуацій, реагуванням на них, функціонуванням єдиної державної системи цивільного захисту, та визначає повноваження органів державної влади, Ради міністрів Автономної Республіки Крим, органів місцевого самоврядування, права та обов'язки громадян України, іноземців та осіб без громадянства, підприємств, установ та організацій незалежно від форми власності [15].

КЗпП України [16] регламентує всі моменти щодо організації взаємодії працівника і роботодавця під час прийому на роботу, в процесі роботи, способи переривання трудових відносин та ін. КЗпП, прийнятий ще у часи СРСР (10 грудня 1971 року) на засадах високого рівня захисту прав трудящих, сприяє зростанню продуктивності праці, поліпшенню якості роботи, підвищенню ефективності суспільного виробництва і піднесенню, на цій основі, матеріального і культурного рівня життя трудящих, зміцненню трудової дисципліни і поступовому перетворенню праці на благо суспільства в першу життєву потребу кожної працездатної людини [9, 11, 16].

У КЗпП, зокрема, зазначені наступні положення [16]: забороняється залучати до надурочних робіт вагітних жінок і жінок, які мають дітей віком до трьох років (ст. 176), а також осіб молодших 18 років (ст. 192); забороняється застосовувати праці жінок на важких роботах і роботах із шкідливими або небезпечними умовами праці, а також на підземних роботах (ст. 174). В ст. 153 КЗпП зазначено про необхідність створення безпечних та нешкідливих умов праці. КЗпП постійно вдосконалюється, відповідно до вимог часу (остання редакція від 19 листопада 2022 року) [16].

Нормативно-правові акти з охорони праці (НПАОП), які до початку 2003 року носили назву Державні нормативні акти про охорону праці (ДНАОП), – це правила, норми, положення, стандарти, інструкції та інші документи, обов'язкові до виконання [9, 11]. Законодавством передбачено, що, залежно від сфери дії,

НПАОП можуть бути міжгалузевими і галузевими.

Всі НПАОП вносяться до Державного Реєстру. Реєстр ДНАОП, що діють на території України, виданий Держнаглядом праці в 1997 році. З 2003 року ведеться реєстр НПАОП, який постійно поповнюється [9, 11].

ГОСТ ССБТ колишнього СРСР застосовуються на території України, як Міждержавні стандарти, до їх заміни іншими нормативними документами, якщо вони не суперечать чинному законодавству України [9, 11]. Поступово їм на заміну вводяться національні державні стандарти – ДСТУ. ДСТУ почали розроблятися з 1992 року.

ДБН – нормативний акт технічного характеру, що встановлює обов’язкові вимоги до об’єкта нормування у будівництві. Об’єктами нормування у будівництві є: планування та забудова території, об’єкт будівництва, містобудування та архітектури і його складові частини, склад і зміст документації об’єктів будівництва, містобудування та архітектури [11].

Складовою частиною права в галузі гігієни праці є постанови та положення (норми) затверджені Міністерством охорони здоров’я України (наприклад, «Положення про медичний огляд працівників певних категорій», «Перелік важких робіт і робіт з шкідливими і небезпечними умовами праці, на яких забороняється застосування праці неповнолітніх»), СанПіН стосовно окремих факторів виробничого середовища, певних технологічних процесів і конкретних виробництв.

СанПіН – обов’язкові для виконання нормативні документи, що визначають критерії безпеки та (або) нешкідливості для людини факторів довкілля і вимоги щодо забезпечення оптимальних чи допустимих умов життєдіяльності людини.

ПУЕ визначають будову, принципи улаштування, особливі вимоги до окремих систем, їх елементів, вузлів і комунікацій електроустановок. ПУЕ встановлюють вимоги до електроустановок загального призначення змінного струму напругою до 750 кВ та постійного струму напругою до 1,5 кВ [17].

ПТЕЕС встановлюють основні організаційні й технічні вимоги до експлуатації електроустановок та електрообладнання напругою до 150 кВ включно [11].

Правовою основою діяльності в галузі ОП та пожежної безпеки є також постанови Верховної Ради України, укази і розпорядження Президента України, декрети, постанови та розпорядження Кабінету Міністрів України, рішення органів державної виконавчої влади, місцевого та регіонального самоврядування, прийняті в межах їх компетенції.

Власники підприємств, установ, організацій, або уповноважені ними органи розробляють, на основі НПАОП, і затверджують власні положення, інструкції або інші нормативні акти про ОП, що діють в межах підприємства, установи, організації [9, 10, 11]. При цьому відхилення вимог щодо ОП в нормативних актах підприємства від НПАОП допускається виключно у бік покращення умов для працівника [9].

Відповідно до ст. 49 Закону України «Про охорону праці» [13], за порушення законодавчих та інших нормативних актів про ОП, створення перешкод для діяльності посадових осіб органів державного нагляду за ОП і представників професійних спілок винні притягаються до дисциплінарної, адміністративної, матеріальної та кримінальної відповідальності, згідно із законодавством.

Держава виступає гарантом створення безпечних і нешкідливих умов роботи для працівників підприємств, установ і організацій всіх форм власності.

Аналіз шкідливих та небезпечних факторів, що впливають на працівників під час технологічних процесів у випарному відділенні цукрового заводу

Шкідливий виробничий фактор – це фактор, вплив якого за певних умов може призвести до захворювання, зниження працездатності і (або) негативного

впливу на здоров'я нащадків [9, 10, 11].

Небезпечний виробничий фактор – це фактор, вплив якого на працівника в певних умовах призводить до травм, отруєння, іншого раптового різкого погіршення здоров'я або до смерті [9, 10, 11].

Відповідно до ГОСТ 12.0.003-74, небезпечні та шкідливі фактори за природою дії поділяються на такі групи: фізичні, хімічні, біологічні та психофізичні.

Розглянемо найбільш значущі небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які впливають на працівників під час технологічних процесів у відділенні випарювання цукрового заводу.

У процесі використання спроектованого виробу на працівників впливають такі фактори: можливість отримання механічних ушкоджень і травм; шкідливі фізичні та хімічні речовини, що знаходяться в повітрі робочої зони, недостатня вентиляція; ненормоване освітлення; наявність вібрацій і шумів; можливість ураження електричним струмом; можливість виникнення пожеж; біологічні та психофізичні небезпечні та шкідливі фактори.

Перш за все, слід сконцентрувати увагу на *можливості отримання механічних ушкоджень і травм* від машин та механізмів, що рухаються, незахищених обертових (рухомих) елементів обладнання, рухомих заготовок.

Наявність пилу та різноманітних шкідливих речовин у повітрі робочої зони визначаються як технологічними процесами, так і якістю наявної вентиляції [9, 10, 11]. Шкідливими вважаються речовини, що при контакті з організмом людини за умов порушення вимог безпеки можуть призвести до виробничої травми, професійного захворювання або розладів у стані здоров'я, що визначаються сучасними методами як у процесі праці, так і у віддалені строки життя теперішнього і наступних поколінь (ГОСТ 12.1.007-76). Шкідливі речовини можуть проникати в організм людини через органи дихання, органи травлення, а також шкіру та слизові оболонки. Через дихальні шляхи потрапляють пари, газо- та пилоподібні речовини; через шкіру – переважно рідкі речовини. Через шлунково-

кишкові шляхи потрапляють речовини під час ковтання або при внесенні їх в рот забрудненими руками. Хімічні речовини, які впливають на працівників під час виробництва цукру – це оксиди вуглецю та сірки.

Під вентиляцією розуміють сукупність заходів та засобів призначених для забезпечення на постійних робочих місцях та в зонах обслуговування виробничих приміщень метеорологічних умов та чистоти повітряного середовища, що відповідають гігієнічним і технічним вимогам. Основне завдання вентиляції – вилучити із приміщення забруднене, вологе або нагріте повітря та подати чисте свіже повітря, тобто забезпечити в приміщеннях метеорологічні умови (температуру, відносну вологість та швидкість руху повітря), що відповідають нормативам, а також виключити можливість наявності в повітрі шкідливих речовин, які перевищують гранично допустимі концентрації.

Освітлення. Серед чинників зовнішнього середовища, що впливають на організм людини в процесі праці, світло займає одне з перших місць. Адже відомо, що 90 % всієї інформації про довкілля людина одержує через органи зору. Світло впливає не лише на функцію органів зору, а й на діяльність організму в цілому. При поганому освітленні людина швидко втомлюється, працює менш продуктивно, зростає потенційна небезпека помилкових дій і нещасних випадків. Згідно із статистичними даними, до 5 % травм можна пояснити недостатнім або нераціональним освітленням, а в 20 % воно сприяло виникненню травм [9]. Врешті, погане освітлення може призвести до професійних захворювань, наприклад, короткозорості або спазму акомодатії.

Для створення оптимальних умов зорової роботи слід враховувати не лише кількість та якість освітлення, а й кольорове оточення [9, 11].

Під *вібрацією* розуміють механічні коливання твердого тіла. Вібрації виникають при роботі машин та механізмів, які мають невірноважені і незбалансовані частини, що обертаються чи здійснюють зворотно-поступальний рух. При роботі даного устаткування вібрація відіграє негативну роль [9, 10].

Загальна вібрація викликає струс всього організму, а місцева залучає до коливального руху окремі частини тіла. Коливання робочих місць із зазначеними резонансними частотами дуже небезпечні, оскільки можуть викликати навіть механічні пошкодження і розрив цих органів. Систематична дія загальних вібрацій в резонансній або біля резонансній частоті може стати причиною виникнення професійного захворювання – «вібраційної хвороби» [9, 10, 11].

Шум виникає при механічних коливаннях в твердих, рідких і газоподібних середовищах. Шумом прийнято вважати звуки, які негативно впливають на організм людини, заважають його роботі та відпочинку.

Шум у виробничих умовах негативно впливає на працівника: послаблює увагу, посилює розвиток втоми, сповільнює реакцію на небезпеку. Внаслідок цього знижується працездатність та підвищується імовірність нещасних випадків. Тому питання боротьби з шумом на сьогоднішній день є актуальним.

Найбільше шум впливає на слуховий апарат людини. Крім безпосереднього впливу на орган слуху шум впливає на різні відділи головного мозку, змінюючи при цьому нормальні процеси вищої нервової діяльності; процеси травлення і кровообігу [9, 10].

Пожежо- та вибухонебезпечність. При недостатній увазі до особливостей виробничого обладнання та технологічного процесу, а також неправильному зберіганні горючих та вибухонебезпечних речовин вони можуть стати причиною пожежі або вибуху.

Слід зазначити, що пожеж безпечних не буває. Якщо вони і не створюють прямої загрози життю та здоров'ю людини (наприклад, лісові пожежі), то завдають збитків довкіллю призводять до значних матеріальних втрат. Коли людина перебуває в зоні впливу пожежі, то вона може потрапити під дію наступних небезпечних та шкідливих факторів: токсичні продукти згорання; вогонь й підвищена температура середовища; дим; недостатність кисню; руйнування будівельних конструкцій; вибухи; витікання небезпечних речовин, що відбуваються внаслідок пожежі; паніка [9, 10].

До біологічних небезпечних та шкідливих виробничих факторів належать патогенні мікроорганізми (бактерії, віруси, мікроскопічні гриби та ін.) і продукти їх життєдіяльності, а також макроорганізми (рослини та тварини) [9, 10, 11].

Психофізичні небезпечні та шкідливі виробничі фактори – це фізичні і нервово-психологічні перевантаження різної природи (перенапруження органів чуттів, монотонність праці, негативні взаємовідносини між членами трудового колективу тощо) [9].

Можливість ураження електричним струмом – ще один досить значимий серед небезпечних і шкідливих факторів виробництва. Дія електричного струму на людину своєрідна та несе різнобічний характер. Всі види дії електричного струму на організм людини можна об'єднати в два основних: електричні травми та електричні удари [9, 10, 11].

Оскільки у сучасному виробничому устаткуванні застосовують змінний струм напругою ~220 В або ~380 В, а, у випадку пошкодження ізоляції чи аварійної ситуації з електрообладнанням, під напругою можуть виявитись неструмопровідні частини і корпуси, то необхідно передбачити захист персоналу від ураження електричним струмом.

Заходи з усунення або зменшення впливу шкідливих та небезпечних факторів, що впливають на працівників під час технологічних процесів у випарному відділенні цукрового заводу

Міри щодо попередження нещасних випадків передбачають роботу з монтажу, технічного обслуговування і ремонту устаткування в суворій відповідності з вимогами правил і інструкцій із техніки безпеки. Виробнича санітарія передбачає комплекс організаційних, гігієнічних і санітарно-технічних заходів, що запобігають впливові шкідливих виробничих факторів на

працюючих.

Для запобігання механічному травматизму від рухомих частин обладнання та нагрітих елементів конструкцій застосовуються різноманітні капоти, екрани, огороження, що унеможливають безпосередній контакт устаткування із частинами тіла працівника. Для того, щоб запобігти виникненню небезпеки при раптовому вимкненні джерел енергії всі робочі органи, а також пристрої, які використовуються для захоплення, затискування та підймання заготовок, деталей виробів, тощо, повинні оснащуватись спеціальними захисними пристосуваннями. Причому необхідно унеможливити самовільне вмикання робочих органів при відновленні подачі енергії.

До загальних заходів та засобів *попередження забруднення повітряного середовища* на виробництві та захисту працюючих належать [9, 10, 11]:

- вилучення шкідливих речовин у технологічних процесах, заміна шкідливих речовин менш шкідливими і т. п.;
- удосконалення технологічних процесів та устаткування;
- автоматизація і дистанційне керування технологічними процесами, при яких можливий безпосередній контакт працюючих з шкідливими речовинами;
- герметизація виробничого устаткування, робота технологічного устаткування під розрідженням, локалізація шкідливих виділень за рахунок місцевої вентиляції, аспіраційних укрить;
- нормальне функціонування систем опалення загальнообмінної вентиляції, кондиціонування повітря, очистки викидків у атмосферу;
- попередні та періодичні медичні огляди робітників, які працюють у шкідливих умовах, профілактичне харчування, дотримання правил особистої гігієни.

Видалення забрудненого повітря здійснюється через вентиляційні отвори, фрамуги, дефлектори. Також застосовують різноманітні відсмоктувачі.

Природна та штучна вентиляції повинні відповідати наступним санітарно-гігієнічним вимогам [9, 11]:

–створювати в робочій зоні приміщень нормовані метеорологічні умови праці (температуру, вологість і швидкість руху повітря);

–повністю усувати з приміщень шкідливі гази, пари, пил та аерозолі або розчиняти їх до допустимих концентрацій;

–не вносити у приміщення забруднене повітря ззовні або шляхом засмоктування із суміжних приміщень;

–не створювати на робочих місцях протягів чи різкого охолодження;

–бути доступними для керування та ремонту під час експлуатації;

–не створювати під час експлуатації додаткових незручностей (наприклад, шуму, вібрацій, попадання дощу, снігу тощо).

Освітлення. Для створення сприятливих умов зорової роботи, які б виключали швидку втомлюваність очей, виникнення професійних захворювань, нещасних випадків і сприяли підвищенню продуктивності праці та якості продукції, виробниче освітлення повинно відповідати наступним вимогам [9]:

–створювати на робочій поверхні освітленість, що відповідає характеру зорової роботи і не є нижчою за встановлені норми;

–забезпечити достатню рівномірність та постійність рівня освітленості у виробничих приміщеннях, щоб уникнути частої переадаптації органів зору;

–не створювати засліплювальної дії як від самих джерел освітлення, так і від інших предметів, що знаходяться в полі зору;

–не створювати на робочій поверхні різких та глибоких тіней (особливо рухомих);

–має бути достатнім для розрізнення деталей контрасту поверхонь, що освітлюються;

–не створювати небезпечних та шкідливих виробничих чинників (шум, теплові випромінювання, небезпека ураження струмом, пожежо- та вибухонебезпека світильників);

–повинно бути надійним та простим в експлуатації, економічним та естетичним.

Залежно від джерела світла, виробниче освітлення може бути: *природним*, що створюється прямими сонячними променями та розсіяним світлом небосхилу; *штучним*, що створюється електричними джерелами світла та *суміщеним*, при якому недостатнє за нормами природне освітлення доповнюється штучним [9, 10, 11].

При проектуванні штучного освітлення необхідно вирішити наступне: вибрати систему освітлення, тип джерела світла, тип світильників, визначити розташування світлових приладів, виконати розрахунки штучного освітлення та визначити потужності світильників і ламп. Вибираючи джерела світла, слід надавати перевагу люмінесцентним або світлодіодним лампам, які енергетично більш економічні. Окрім того, вони за спектральними характеристиками максимально наближаються до природного світла, що важливо при використанні суміщеного освітлення.

Зменшення вібрації досягається декількома шляхами [10, 11]. Зменшення вібрації в джерелі її виникнення досягається шляхом застосування таких кінематичних та технологічних схем, які усувають чи до мінімуму знижують дію динамічних сил. Так, вібрація послаблюється при заміні кулачкових та кривошипних механізмів на механізми, що обертаються з рівномірною швидкістю, механічних приводів – на гідравлічні і т. п. Зменшення вібрації досягається також статичним та динамічним зрівноважуванням механізмів і об'єктів, що обертаються. Слід зазначити, що дія динамічних сил може посилитись внаслідок спрацювання окремих механізмів, появи зазорів та люфтів, поганого зчеплення деталей, що призводить до посилення вібрації. При проектуванні устаткування важливо передбачити недопущення резонансних режимів його роботи. Це досягається раціональним вибором маси та жорсткості коливальної системи або частоти змушувальної сили.

Контакту працівника з віброоб'єктом, а, відтак, і шкідливої дії вібрації можна уникнути шляхом використання дистанційного керування, автоматичного контролю та сигналізації, а також застосуванням захисного огороження. Якщо

цього досягти неможливо, то необхідно при контакті працівника з віброоб'єктом домогтися зменшення параметрів вібрації на шляху її поширення від джерела змушувальної сили. Це можна досягти за допомогою вібропоглинання, віброгасіння та віброізоляції.

Найбільш ефективним та технічно доцільним методом зниження вібрації є зниження неврівноважених сил, тобто динамічних навантажень, котрі створюються машинами.

Динамічні навантаження, котрі виникають у машинах, можуть бути знижені наступними шляхами:

- ретельним динамічним балансуванням обертових частин агрегатів;
- центруванням муфтових з'єднань вентилятора або насоса з електродвигуном;
- ліквідацією перекосів та великих зазорів у підшипниках;
- надійним закріпленням рознімних частин обладнання (кришок підшипників тощо).

Якщо неможливо забезпечити необхідне зниження вібрації і шуму, котрий виникає при роботі машин, за допомогою наведених вище методів, тоді необхідно вдатись до віброізоляції.

Віброізоляція агрегатів досягається встановленням їх на спеціальні віброізолятори (пружні елементи, котрі мають невелику жорсткість), застосуванням гнучких елементів у системах комунікацій, з'єднаних з вібруючим обладнанням, застосуванням м'яких еластичних прокладок.

Заходи й засоби *захисту від шуму* поділяються на колективні та індивідуальні, причому останні застосовуються лише тоді, коли заходами й засобами колективного захисту не вдається знизити рівні шуму на робочих місцях до допустимих значень [9, 10, 11]. Призначення засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) від шуму – перекрити найбільш чутливі канали проникнення звуку в організм – вуха. Тим самим різко послаблюються рівні звуків, що діють на барабанну перетинку, а, відтак, і коливання чутливих елементів внутрішнього

вуха. Такі засоби дозволяють одночасно попередити розлад і всієї нервової системи від дії інтенсивного подразника, яким є шум.

До ЗІЗ від шуму належать навушники, протишумові вкладки, шумозаглушувальні шоломи. Вибір ЗІЗ обумовлюється видом та характеристикою шуму на робочому місці, зручністю використання засобу при виконанні даної робочої операції та конкретними кліматичними умовами [10, 11].

Зменшення шуму у самому джерелі – найбільш радикальний засіб боротьби з шумом, що створюється устаткуванням [9]. Досвід показує, що ефективність заходів щодо зниження шуму устаткування, яке вже працює, досить невисока, тому необхідно прагнути до максимального зниження шуму в джерелі ще на стадії проектування устаткування. Це досягається за допомогою наступних заходів та засобів: удосконаленням кінематичних схем та конструкцій устаткування; проведенням статичного та динамічного зрівноважування і балансування; виготовленням деталей, що співударяються та корпусних деталей з неметалевих матеріалів (пластмас, текстоліту, гуми); чергуванням металевих та неметалевих деталей; підвищенням точності виготовлення деталей та якості складання вузлів і устаткування; зменшенням зазорів у з'єднаннях, шляхом зменшення припусків; застосуванням змащування деталей, що труться і т. п.

Організаційно-технічні заходи захисту від шуму передбачають: застосування малошумних технологічних процесів та обладнання, оснащення шумного устаткування засобами дистанційного керування, дотримання правил технічної експлуатації, проведення планово-попереджувальних оглядів та ремонтів [9, 10, 11].

Для зменшення шкідливого впливу виробничого шуму на працівників шумних виробництв, послаблення передавання його в сусідні приміщення застосовують звуко- і віброізоляцію, звуко- і вібропоглинання та глушники шуму.

Звукоізоляція є ефективним засобом зменшення рівня шуму на шляху

його поширення, що реалізується шляхом встановлення звукоізоляційних перешкод (перегородок, кабін, кожухів, екранів) [9, 10]. Принцип звукоізоляції базується на тому, що більша частина звукової енергії, яка потрапляє на перешкоду, відбивається і лише незначна її частина проникає крізь неї.

Пожежо- та вибухобезпека. Протипожежна профілактика передбачає заходи з попередження та ліквідації пожеж, включаючи обмеження сфери розповсюдження вогню і забезпечення успішної евакуації людей та майна із приміщень, які горять.

Всі виробничі приміщення обладнуються протипожежними щитами, засобами пожежогасіння планами евакуації, інструкціями та знаками безпеки. При розробці планів ліквідації аварій має бути зроблений розрахунок і прийнятий режим вентиляції, що сприяє, у випадку виникнення пожежі, запобіганню перекидання вентиляційного струменя і поширенню газоподібних продуктів горіння, зниженню активності пожежі, створенню сприятливих умов для його гасіння й попередження вибухів горючих газів.

Улаштування на території підприємства складів для зберігання горючих та вибухонебезпечних речовин виконуються із суворим дотриманням протипожежних вимог.

Регулярно повинні проводитися інструктажі з протипожежної безпеки і об'єктові тренування з евакуації та уміння використовувати засоби пожежогасіння.

Для захисту працівників від біологічних факторів – вірусів, бактерій та алергенів рослинного і тваринного походження у виробничих приміщеннях застосовуються системи вентиляції та ЗІЗ – ватно-марлеві пов'язки, респіратори, протигази. Для захисту шкіряних покривів – спецодяг. Періодично і регулярно мають проводитись заходи з дератизації, дезінсекції, дезінфекції [9, 11].

Найбільш дієвим способом *захисту від психофізичних небезпечних і шкідливих впливів* на працівника є правильна організація його робочого часу та місця роботи. Мають бути раціонально сплановані робочі зміни та час

відпочинку, надаватись технологічні й гігієнічні перерви, створюватись позитивний моральний клімат у трудовому колективі.

Щоб уникнути негативних реакцій на монотонність праці, необхідно при прийнятті на роботу проводити співбесіду та відповідне тестування, аби пересвідчитись у спроможності працівника здійснювати монотонну роботу протягом усього робочого часу.

Основні заходи із захисту від електротравматизму умовно можна поділити на дві групи [9, 10]:

- ті, що забезпечують безпеку при нормальному режимі роботи електроустановок;

- ті, що забезпечують безпеку при аварійному режимі роботи.

Конструкції устаткування повинні забезпечувати недоступність струмопровідних частин для випадкового дотику, запобігати накопиченню статичної електрики в небезпечних кількостях; устаткування має бути оснащено засобами сигналізації про порушення нормального режиму роботи, а, у необхідних випадках (аваріях, небезпечних пошкодженнях, режимах близьких до небезпечних), – засобами автоматичної зупинки, гальмуванні та вимикання джерел енергії.

Електрична ізоляція – це шар діелектрика або конструкція, виконана з діелектрика, котрим вкривається поверхня струмопровідних частин, або котрим струмопровідні частини відділяються одна від одної [9]. Стан ізоляції характеризується її електричною міцністю, діелектричними втратами та електричним опором. Ізоляція запобігає протіканню струмів через неї завдяки великому опору.

Є обов'язковою вимогою застосування до електричного обладнання одного з трьох методів захисту, наведених нижче (або їх комбінації).

Захисне занулення – це навмисне електричне з'єднання з нульовим захисним провідником металевих нормально неструмопровідних частин, які можуть опинитись під напругою [9].

Захисне вимикання застосовується як основний або додатковий захисний засіб, якщо безпека не може бути забезпечена шляхом влаштування заземлення, або іншими способами захисту. Захисне вимикання – це швидкодіючий захист, який забезпечує автоматичне вимкнення електроустановки при виникненні в ній небезпеки ураження струмом [9].

Захисне заземлення – це навмисне електричне з'єднання із землею або з її еквівалентом металевих нормально неструмопровідних частин, які можуть опинитися під напругою [9]. Призначення захисного заземлення полягає в тому, щоб, у випадку появи напруги на металевих конструктивних частинах електроустановки (наприклад, внаслідок замикання на корпус при пошкодженні ізоляції), забезпечити захист людини від ураження електричним струмом при її доторканні до таких частин. Це досягається шляхом зниження до безпечних значень напруг доторкання до корпусу.

Розрахуємо систему захисного заземлення для електрообладнання випарного відділення цукрового заводу.

Розрахунок системи захисного заземлення для електрообладнання випарного відділення цукрового заводу

Початкові дані.

Необхідно розрахувати захисне заземлення електроустановки електромережі напругою $\sim 220/380$ В глухозаземленою нейтраллю без природного заземлювача. Електроустановки розташовані у виробничому цеху. Ґрунт – чорнозем. Тип заземлювача – сталеві вертикальні труби діаметром $d_e = 0,04$ м із довжиною $l_e = 3$ м; відстань між вертикальними заземлювачами $a = 3$ м; глибина закладання вертикальних заземлювачів $h_e = 1,2$ м; глибина закладання горизонтальних заземлювачів $h_z = 1,2$ м; ширина з'єднувальної стрічки $b_{з.с.} = 0,04$ м. Допустимий опір $R_{дон} \leq 4$ Ом.

Розв'язок:

Розрахунок проводимо за методикою, викладеною у джерелах [10, 11].

1) Приблизне значення питомого опору ґрунту, що рекомендується для розрахунку, приймаємо, за табл. 7.2 [10]: $\rho_{табл} = 40 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

2) Коефіцієнт сезонності для вертикальних заземлювачів, за табл. 7.4 [10], приймаємо: $K_{св} = 1,3$.

3) Коефіцієнт сезонності для горизонтальних заземлювачів, за табл. 7.4 [10], приймаємо: $K_{сг} = 2,5$.

4) Розрахунковий питомий опір ґрунту для вертикальних заземлювачів:

$$\rho_{розр.в.} = \rho_{табл} \cdot K_{св} . \quad (1)$$

$$\rho_{розр.в.} = 40 \cdot 1,3 = 52 \text{ Ом}\cdot\text{м}.$$

5) Розрахунковий питомий опір ґрунту для горизонтальних заземлювачів:

$$\rho_{розр.г.} = \rho_{табл} \cdot K_{сг} . \quad (2)$$

$$\rho_{розр.г.} = 40 \cdot 2,5 = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}.$$

6) Відстань від поверхні землі до середини вертикального заземлювача:

$$h = h_{\epsilon} + \frac{l_{\epsilon}}{2} . \quad (3)$$

$$h = 1,2 + \frac{3}{2} = 2,7 \text{ м}.$$

7) Опір розтікання струму в одному вертикальному заземлювачі:

$$R_{\epsilon} = 0,366 \cdot \frac{\rho_{розр.в.}}{l_{\epsilon}} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l_{\epsilon}}{d_{\epsilon}} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot h + l_{\epsilon}}{4 \cdot h - l_{\epsilon}} \right) . \quad (4)$$

$$R_{\epsilon} = 0,366 \cdot \frac{52}{3} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 3}{0,04} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot 2,7 + 3}{4 \cdot 2,7 - 3} \right) = 34 \text{ Ом}.$$

8) Теоретична кількість вертикальних заземлювачів, без врахування коефіцієнта використання $\eta_{\epsilon.в.}$ (тобто при $\eta_{\epsilon.в.} = 1$):

$$n_{т.в.} = \frac{R_B}{R_{\epsilon} \cdot \eta_{\epsilon.в.}} . \quad (5)$$

$$n_{т.в.} = \frac{34}{4 \cdot 1} \approx 9 \text{ шт.}$$

9) Коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів при $n_{т.в.} = 8,5$ та при відношенні $\frac{L_в}{l_в} = 1$, за табл. 7.5 [10], приймаємо: $\eta_{в.в.} = 0,55$.

8) Необхідна кількість вертикальних заземлювачів, з урахуванням коефіцієнта використання:

$$n_{н.в.} = \frac{R_B}{R_0 \cdot \eta_{в.в.}}. \quad (6)$$

$$n_{н.в.} = \frac{34}{4 \cdot 0,55} \approx 16 \text{ шт.}$$

9) Розрахунковий опір розтіканню струму в усіх вертикальних заземлювачах:

$$R_{розр.в.} = \frac{R_в}{n_{н.в.} \cdot \eta_{в.в.}}. \quad (7)$$

$$R_{розр.в.} = \frac{34}{16 \cdot 0,55} \approx 4 \text{ Ом.}$$

10) Довжина з'єднувальної стрічки:

$$L_{з.с.} = 1,05 \cdot a \cdot (n_{н.в.} - 1). \quad (8)$$

$$L_{з.с.} = 1,05 \cdot 3 \cdot 14 = 44,1 \text{ м.}$$

11) Визначаємо опір розтікання струму в горизонтальному заземлювачі:

$$R_г = 0,366 \cdot \frac{\rho_{розр.г.}}{L_{з.с.}} \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot L_{з.с.}^2}{h_г \cdot b_г} \right). \quad (9)$$

$$R_г = 0,366 \cdot \frac{100}{44,1} \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot 44,1^2}{1,2 \cdot 0,04} \right) \approx 9,4 \text{ Ом.}$$

12) Коефіцієнт використання горизонтального заземлювача, за табл. 7.6 [10], приймаємо: $\eta_{г.г.} = 0,27$.

13) Розрахунковий опір розтіканню струму в горизонтальному

заземлювачі при кількості електродів $n_e = 1$:

$$R_{розр.г.} = \frac{R_{\epsilon}}{n_e \cdot \eta_{\epsilon.г.}}. \quad (10)$$

$$R_{розр.г.} = \frac{9,4}{1 \cdot 0,27} = 34,8 \text{ Ом.}$$

14) Розрахунковий теоретичний опір розтікання струму в вертикальних та горизонтальних заземлювачах:

$$R_{розр.в.г.} = \frac{R_{розр.в.} \cdot R_{розр.г.}}{R_{розр.в.} + R_{розр.г.}}. \quad (11)$$

$$R_{розр.в.г.} = \frac{4 \cdot 34,8}{4 + 34,8} = \frac{139,2}{38,8} = 3,6 \text{ Ом.}$$

Оскільки це значення менше 4 Ом, захисне заземлення є дієвим.

Схема системи захисного заземлення для електрообладнання випарного відділення цукрового заводу зображена на **рис. 1**.

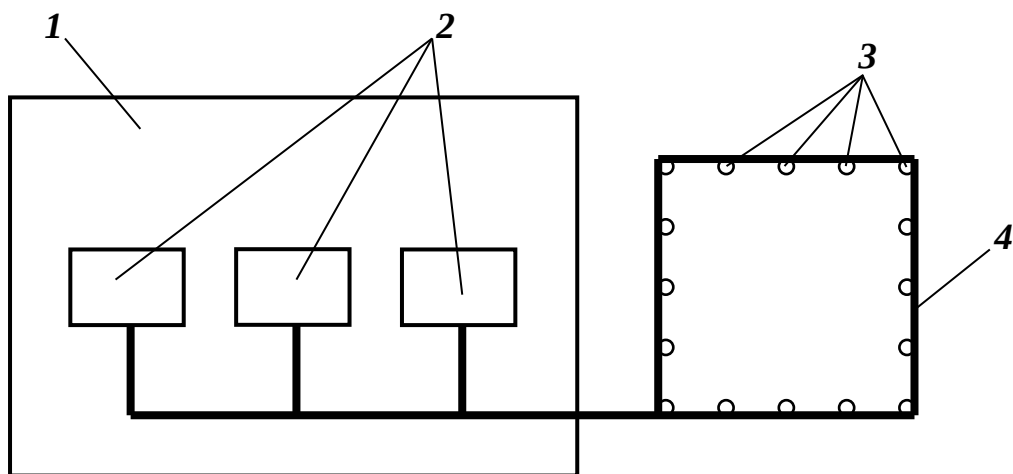


Рисунок А.1 – Схема системи захисного заземлення для електрообладнання випарного відділення цукрового заводу:

1 – виробниче приміщення; 2 – електроустановки; 3 – вертикальні заземлювачі; 4 – з'єднувальна стрічка (горизонтальні заземлювачі)