

ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА, ТРАНСПОРТУ ТА ЕНЕРГЕТИКИ
КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ

“Допущено до захисту ”
Зав. кафедрою АВП
к.т.н., доцент
_____ О.К. Дідик
“ ____ ” _____ 2024 р.

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему:
«Удосконалення системи керування підігрівом води в
процесі вичинки шкіри»

«Improving water heating control system in the tanning
process»

Виконав здобувач вищої освіти
II курсу, групи АК-23М-1
спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-
інтегровані технології та робототехніка»
_____ В.О. Дятлов
« ____ » _____ 2024 р.

Керівник роботи
доц, канд.техн.наук
_____ О.М. Сербул
« ____ » _____ 2024 р.

Рецензент
доц. каф. ЕТС та ЕМ, к.т.н

« ____ » _____ 2024 р.

м. Кропивницький

ЗМІСТ

Вступ.....	5
1 Призначення та область застосування системи регулювання температури води в технологічному процесі зоління шкіри.....	8
1.1 Технологічний процес виготовлення шкіри.....	8
1.1.1 Вивантаження і приймання шкіряної сировини.....	10
1.1.2 Відмоко - зольний цех.....	10
1.1.3 Дубільний цех.....	11
1.1.4 Сорткування готової продукції.....	13
1.2 Загальна характеристика процесів зоління на підприємстві з виробництва шкіри.....	14
1.2.1 Значення температури води в технологічному процесі зоління шкіри.....	16
1.2.2 Реагенти і їх кількість у воді в процесі зоління шкіри.....	17
1.2.3 Межі зміни температури води в процесі зоління шкіри.....	19
1.2.4 Визначення якості шкіри в процесі зоління.....	20
1.2.5 Вплив температури води на міцність шкіри в процесі зоління.....	23
1.2.6 Товщина зразків шкіри після процесу зоління.....	25
1.2.7 Методи вимірювання міцності шкіри після процесу зоління.....	26
1.2.8 Межі зміни розривної міцності шкіри.....	29
2 Огляд рішень та обґрунтування принципу побудови системи.....	33
2.1 Огляд методів вимірювання температури технологічної води, що подається в процес зоління.....	33
2.1.1 Загальний огляд датчиків.....	33
2.1.2 Характеристики датчиків.....	34
2.1.3 Типи напівпровідникових датчиків температури.....	37
2.1.4 Датчики температури на базі напівпровідникових пристроїв.....	37

2.1.5 Датчики температури на базі терморезисторів.....	39
2.1.6 Опис плівкових датчиків температури.....	43
2.2 Способи та засоби нагрівання потоку рідини в трубі.....	44
2.2.1 Типи водонагрівачів.....	44
2.2.2 Електричні водонагрівачі проточного типу	46
2.2.3 Електричні накопичувальні водонагрівачі.....	48
2.2.4 Газові проточні водонагрівачі.....	49
2.2.5 Газові накопичувальні водонагрівачі.....	51
2.3 Основні типи запірних клапанів.....	52
2.3.1 Клапан типу РТ-ТС.....	52
2.3.2 Клапан типу РТ-ДО.....	53
2.3.3 Клапан типу РТС-ДО.....	54
3 Опис та обґрунтування обраних рішень системи регулювання температури води в процесі зоління шкіри.....	57
3.1 Розробка структури системи регулювання температури технологічної води.....	57
3.2 Розробка та опис схеми функціональної системи регулювання температури технологічної води.....	58
3.3 Розробка принципової схеми реалізації системи регулювання температури води, що подається в барабан.....	59
4 Розрахунки, що підтверджують працездатність виробу.....	64
4.1 Рівняння елементів системи.....	36
4.2 Будова та принцип дії САР.....	65
4.3 Функціональна схема САР.....	65
4.4 Структурна схема системи.....	66
4.5 Визначення передаточних функцій системи та характеристичного рівняння.....	67
4.6 Побудова АФЧХ, ЛАЧХ та ЛФЧХ розімкнутої системи.....	68
4.6.1 Побудова АФЧХ характеристики розімкнутої системи.....	68
4.6.2 Побудова ЛАЧХ характеристики розімкнутої системи.....	69

4.6.3 Побудова ЛФЧ характеристики розімкнутої системи.....	70
4.7 Побудова дійсної частотної характеристики замкнутої системи.....	70
4.8 Визначення стійкості системи, запасів стійкості, побудова області стійкості.....	71
4.9 Оцінка якості регулювання замкнутої системи по ЛАЧХ розімкнутої системи.....	73
4.10 Побудова перехідного процесу замкнутої системи.....	74
4.11 Визначення прямих показників якості системи.....	75
4.12 Побудова бажаної ЛАЧХ системи.....	76
4.13 Синтез коректуючого пристрою системи за ЛАЧХ.....	77
4.14 Побудова кривої перехідного процесу синтезованої системи.....	79
4.15 Визначення прямих показників якості синтезованої системи.....	80
5 Організація робіт по обслуговуванню системи регулювання температури технологічної води.....	81
5.1 Монтаж системи регулювання температури технологічної води.....	81
5.2 Налагоджування системи регулювання температури технологічної води.....	83
5.3 Особливості експлуатації системи регулювання температури технологічної води.....	84
Висновки.....	85
Список літератури.....	88
Додатки.....	90

ВСТУП

Людина оточена величезною кількістю різноманітних виробів, товарів і матеріалів, що виготовлені з полімерів, проте не менш важливу роль у її житті відіграють і шкіряні вироби. З'єднання, до яких належать природні білки, є основою багатьох процесів на Землі і разом із целюлозою здавна визначали життєдіяльність і життєзабезпечення людей. Ці матеріали сприяли розвитку цивілізацій, оскільки вони використовуються у виготовленні різних предметів побуту, одягу, інструментів та технічних виробів, що забезпечують комфорт і ефективність людського життя.

Враховуючи велике народногосподарське значення галузі, ефективність виробничих процесів у шкірній промисловості повинна бути на високому рівні. Для досягнення таких результатів необхідне впровадження сучасних засобів автоматизації, які дозволяють оптимізувати технологічні етапи, підвищити продуктивність і знизити витрати. Автоматизація цих процесів не лише покращує якість продукції, але й забезпечує стабільність виробництва, знижує людський фактор та дозволяє швидше реагувати на зміни попиту на ринку.

Основною метою автоматизації процесу зоління шкіри є вдосконалення умов праці, збільшення ефективності виробництва та зменшення витрат. Автоматизація дозволяє значно зекономити хімічні матеріали, що використовуються в процесі, та досягти високої якості гол'є після завершення операції зоління. Окрім цього, впровадження автоматичних систем сприяє більш раціональній організації відмово-зольних робіт, що знижує ймовірність помилок та підвищує стабільність і контроль над усіма етапами виробничого процесу. Як результат, автоматизація допомагає не лише зменшити витрати та оптимізувати час обробки, але й значно покращити екологічні показники виробництва, знижуючи негативний вплив на навколишнє середовище.

Правильне регулювання температури води в процесі зоління шкіри має велике значення для досягнення оптимальних результатів у цьому технологічному процесі. Ось основні причини, чому це так важливо:

1. Якість кінцевого продукту: Температура води впливає на ефективність розкладу колагенових волокон у шкірі. Якщо температура води занадто висока або низька, це може призвести до нерівномірного зоління шкіри, що вплине на її міцність, еластичність і зовнішній вигляд. Тому стабільний контроль температури дозволяє отримати однорідну і високу якість шкіри.

2. Економія енергії та матеріалів: Неправильне регулювання температури може призвести до надмірних витрат енергетичних ресурсів для нагрівання води або витрат хімічних речовин, які використовуються в процесі зоління. Підтримка оптимальної температури дозволяє знижувати такі витрати, що веде до економії ресурсів.

3. Швидкість процесу: Зоління шкіри при неправильній температурі може затягнути процес або, навпаки, призвести до його швидкого завершення з поганими результатами. Точне регулювання температури дозволяє зберігати рівномірність і передбачуваність у часі обробки шкіри, що підвищує ефективність виробництва.

4. Безпека та умови праці: Неправильно відрегульована температура може створювати небезпечні умови для працівників, наприклад, перегрівання води або занадто холодну температуру, що ускладнює роботу. Автоматизовані системи контролю температури допомагають підтримувати комфортні умови для працівників, знижуючи ймовірність помилок і травм.

5. Стабільність технологічного процесу: Регулювання температури води є ключовим для стабільності технологічного процесу, оскільки коливання температури можуть призвести до непередбачуваних результатів у кінцевому продукті. Підтримка постійної температури дозволяє забезпечити стабільність у виробництві шкіри.

Таким чином, точне регулювання температури води в процесі зоління є важливим фактором для досягнення високої якості шкіри, економії ресурсів, підвищення ефективності та безпеки праці.

Автоматизація процесу регулювання температури води здійснюється через активацію заслонки клапана, що контролює подачу води до процесу. Це

забезпечує подачу води заданої температури в барабан відмоко-зольної галереї. Реконструкція відмово-зольного цеху та впровадження сучасних автоматизованих систем дозволяють стабільно підтримувати температуру води на необхідному рівні, який визначається технологом зольного цеху. Такий підхід не тільки забезпечує точність виконання технологічних процесів, але й значно покращує умови праці робітників, створюючи більш безпечне та комфортне робоче середовище.

У цій роботі розглядається вдосконалення процесу регулювання температури води у відмово-зольному цеху шляхом розробки та впровадження системи автоматичного контролю температури води під час зоління шкіри. Основними цілями є зниження витрат матеріальних та енергетичних ресурсів, підвищення ефективності виробничого процесу, а також створення комфортніших та безпечніших умов праці для обслуговуючого персоналу. Впровадження такої системи дозволить забезпечити стабільність температурних параметрів на всіх етапах зоління, що, в свою чергу, сприятиме підвищенню якості продукції та зниженню екологічного навантаження на навколишнє середовище.

1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ВОДИ В ТЕХНОЛОГІЧНОМУ ПРОЦЕСІ ЗОЛІННЯ ШКІРИ

1.1 Технологічний процес виготовлення шкіри

Технологічний процес виготовлення шкіри складається з кількох етапів, кожен з яких має важливе значення для отримання якісного кінцевого продукту. Ось основні етапи цього процесу:

1. Підготовка сировини:

- Отримання сировини: Для виробництва шкіри використовується шкіра тварин (найчастіше великої рогатої худоби, свиней, овець тощо).

- Попереднє очищення: Сировина очищається від забруднень, волосся, залишків м'яса, жиру та інших домішок. Зазвичай для цього використовуються механічні та хімічні методи.

2. Видалення волосся (депіляція):

- Процес депіляції полягає у видаленні волосся з шкіри за допомогою хімічних або механічних методів. Це один з важливих етапів, оскільки волосся не використовуються у готовій шкірі.

3. Очищення та обробка (депротеїнізація):

- Після депіляції шкіра піддається очищенню від залишкових речовин, таких як жир і білки, що залишаються в структурі шкіри. Це важливий етап для підготовки матеріалу до наступних хімічних обробок.

4. Зоління:

- Зоління (хіміотерапія) — основний етап, на якому шкіра обробляється хімічними речовинами (наприклад, хромом, танінами або алюмінієм), що сприяють стабілізації її структури, покращенню міцності та збереженню. Завдяки золінню шкіра стає стійкою до гниття і отримує відповідні властивості для подальшого використання.

- Зоління може бути хромовим, танацевим або міксованим в залежності від використаних хімічних сполук.

5. Прополіскування:

- Шкіра обробляється водою для видалення залишків хімічних сполук, таких як кислоти або основи, що використовувалися під час зоління.

6. Масляна та жирові обробки:

- Для надання шкірі еластичності та водовідштовхувальних властивостей її обробляють спеціальними маслами або жирами. Це також допомагає покращити зовнішній вигляд і підвищити довговічність шкіри.

7. Фіксація та стабілізація:

- Шкіра проходить процедуру стабілізації, що включає закріплення отриманих властивостей і забезпечення тривалого збереження матеріалу. Це може включати подальшу обробку для підвищення її водостійкості та зносостійкості.

8. Остаточне оформлення:

- На цьому етапі шкіра може бути піддана додатковим процесам, таким як фарбування, фарбування або нанесення декоративних покриттів, щоб надати їй бажаного кольору, текстури та вигляду.

- Залежно від кінцевого призначення шкіри (наприклад, для виготовлення взуття, сумок або меблів) здійснюється її вирівнювання, шліфування та нанесення покриттів для поліпшення зовнішнього вигляду та довговічності.

9. Сушіння та фінальна обробка:

- Після всіх обробок шкіра висушується та проходить останнє вирівнювання. Цей етап включає остаточну перевірку якості та відповідність стандартам, що дозволяє отримати готовий матеріал для подальшого використання.

10. Фінішна обробка:

- Після сушіння шкіра проходить фінішну обробку, яка включає її гладкість, покриття захисними шарами та фарбування, щоб покращити зовнішній вигляд і зробити її готовою до використання.

Таким чином, технологічний процес виготовлення шкіри складається з кількох послідовних етапів, на кожному з яких застосовуються спеціалізовані методи і технології для досягнення оптимальної якості матеріалу.

Технологічний процес виготовлення шкіри представлено на слайді 01.00.

1.1.1 Вивантаження і приймання шкіряної сировини

Шкіряна сировина, що надходить на підприємство, транспортується автомобільним або залізничним транспортом та зазвичай упаковується в пакунки, на піддони, за допомогою пакетуємих строп або в "вростав" — спеціалізовані пакувальні конструкції. Для забезпечення її належного збереження під час транспортування та зберігання, сировина повинна бути оброблена за допомогою мокросолення, що забезпечує ефективну консервацію. Це дозволяє уникнути псування матеріалу, зберігаючи його в оптимальних умовах до початку подальших етапів обробки, а також зменшує ризик розвитку мікроорганізмів, що можуть спричинити гниття.

1.1.2 Відмоко - зольний цех

1. СОРТУВАННЯ, МАРКУВАННЯ ТА КОМПЛЕКТУВАННЯ ШКІРЯНОЇ СІРОВИНИ У ВИРОБНИЧІ ПАРТІЇ — це важливий етап у процесі обробки сировини на підприємстві. Метою цієї операції є визначення сорту, виду, маси та виробничого призначення кожної одиниці сировини. Крім того, на цьому етапі проводиться приймання сировини від постачальників, що дозволяє перевірити її відповідність встановленим вимогам. Після цього сировина сортується та комплектується у виробничі партії, готові до подальшої обробки, що забезпечує ефективне планування та оптимізацію виробничих процесів [1].

2. РІДИННІ ВІДМОКО-ЗОЛЬНІ ПРОЦЕСИ — це етап, який полягає у проведенні обводнення шкіри до парного стану, видаленні навалювання, розпушуванні структури білка шкіри та розчиненні волосяного покриву. Метою цієї операції є підготовка сировини до подальших етапів обробки. Вага сировини, що завантажувється в барабан, може бути різною і залежить від її типу —

мокросолення або тузлучної консервації. Обробка шкур у барабанах проводиться цілодобово, що дозволяє підтримувати безперервний виробничий процес. Тривалість обробки, режими обертання барабанів та концентрація хімічних розчинів залежать від обраної технології виробництва і конкретних вимог до кінцевого результату [1].

3. Міздрення голини — це операція, спрямована на видалення з верхньої частини голини підшкірної клітковини (мездри), а також залишків м'яса і жиру. Метою цього етапу є очищення сировини від небажаних тканин, що може покращити її якість і підготувати до подальших етапів обробки. Видалення мездри дозволяє зменшити ризик псування шкіри та забезпечити рівномірне зоління на наступних стадіях виробництва.

4. Обрізка голини — це операція, метою якої є видалення залишків мездри, що залишилися після процесу міздріння, по всьому периметру голини. Цей етап дозволяє очистити шкіру від непотрібних тканин, що залишаються на краях, і забезпечує її рівномірну обробку на наступних стадіях виробництва. Обрізка також сприяє поліпшенню естетичних характеристик шкіри та підвищує її якість, забезпечуючи кращі умови для зоління та інших хімічних обробок.

5. Зважування голини — це операція, метою якої є визначення ваги партії шкірної сировини для подальшого проведення преддубильно-дубільних процесів. Цей етап є важливим для точного розрахунку необхідної кількості хімічних реагентів та контролю за технологічними параметрами, що забезпечують ефективне дублення. Правильне зважування допомагає забезпечити рівномірну обробку шкіри, запобігти перевитратам матеріалів та оптимізувати виробничий процес, сприяючи досягненню бажаної якості кінцевого продукту.

1.1.3 Дубільний цех

Після завершення відмочно-зольних процесів і механічних операцій золена голина переміщується в підвісні барабани дубильного цеху для проведення преддубильно-дубільних процесів. На цьому етапі здійснюється підготовка шкіри до основного дублення, яке включає попереднє насичення її дубильними

розчинами та подальше стабілізування структури шкіри. Цей процес має вирішальне значення для досягнення бажаних фізико-хімічних властивостей шкіри, таких як міцність, еластичність і стійкість до гниття. [2] Тут відбуваються наступні операції:

Знезолення — це процес обробки шкіри солями амонія, який використовується для нейтралізації залишків лужних розчинів, що утворюються після попередніх етапів обробки. Ця операція дозволяє зменшити рівень залишкових хімічних сполук, полегшуючи наступні стадії дублення та покращуючи якість кінцевого продукту. Знезолення також сприяє досягненню більш рівномірного дублення та зменшенню негативного впливу хімічних залишків на структуру шкіри.

М'якшення — це короткочасний процес обробки голини ферментними препаратами у водному середовищі при підвищеній температурі. Метою цієї операції є видалення гнейста та продуктів розпаду міжволоконних білків, що сприяє покращенню структури шкіри. Завдяки цьому процесу голина набуває підвищеної повітропроникності, пластичності, а також гладкості лицьового шару. М'якшення допомагає шкірі стати більш еластичною та зручною в подальшому використанні, забезпечуючи їй додаткову стійкість до механічних навантажень та покращуючи її зовнішній вигляд.

Пікелювання — це процес обробки напівфабрикату розчином, що містить кислоту та нейтральну сіль, з метою досягнення необхідного рівня кислотності, що сприяє ефективному проникненню та скріпленню солей хрому. Ця операція дозволяє підготувати шкіру до наступних етапів дублення, забезпечуючи оптимальні умови для хімічної взаємодії солей хрому з волокнами шкіри. Пікелювання здійснюється без перевищення дозування хімічних реагентів (без "нажору"), що дозволяє зберегти баланс хімічного складу шкіри і покращити її властивості, такі як міцність і еластичність.

Дублення — це процес обробки голини солями хрому, який полягає у хімічній взаємодії шкіри з хромовими сполуками для стабілізації її структури. Під час дублення відбувається перетворення колагенових волокон шкіри, що значно

підвищує її міцність, еластичність і стійкість до впливу води та мікроорганізмів. Дублення солями хрому також покращує збереження шкіри, забезпечуючи її довговічність та зручність в подальшому використанні, що робить її ідеальним матеріалом для виготовлення різних виробів, таких як взуття, одяг, сумки та інші аксесуари.

Віджим вологи та розводка напівфабрикату після дублення на гідропресі «RIZZI - PRN» — це важливий етап у обробці шкіри. Метою операції є механічне видалення частини вологи (приблизно 10%), що залишилася в дубленому напівфабрикаті після вивантаження з барабана. Цей процес дозволяє значно зменшити вологість шкіри, підготовлюючи її до подальших етапів обробки. Крім того, за допомогою розтягуючого пристрою запобігається утворенню зморшок і складок на шкірі, що дозволяє зберегти її рівну поверхню і покращити естетичні характеристики. Операція також сприяє частковому збільшенню площі шкіри, що важливо для подальшого виготовлення виробів. Для напівфабрикатів, оброблених за напівсинтетичним і хромовим методами дублення, віджимання проводиться до досягнення вмісту вологи в межах 55-60%. Це значення коригується в залежності від подальшого використання шкіри, зокрема для напрямів «на стругання» або «упаковка».

1.1.4 Сортування готової продукції

Метою цієї операції є поділ шкір на різні сорти в залежності від їх якості з урахуванням вимог до асортименту. Це дозволяє забезпечити відповідність кожної шкіри встановленим стандартам і вимогам покупців, а також оптимізувати подальше використання матеріалу.

1. Вимір площі готової продукції

Метою цієї операції є вимірювання площі кожної шкіри чи напівфабрикату. Це дозволяє точно визначити кількість матеріалу та забезпечити правильний облік і планування для подальшої обробки або поставки.

2. Упаковка готової продукції

На цьому етапі шкіри упаковуються в пачки, зазвичай по 5-6 шкір, що забезпечує зручність транспортування та зберігання. Після упаковки продукція

відправляється фірмам-покупцям або тимчасово зберігається на складі для подальшого використання. Упаковка повинна забезпечувати збереження якості шкіри під час транспортування і зберігання, а також сприяти ефективному використанню простору при складуванні.

1.2 Загальна характеристика процесів зоління на підприємстві з виробництва шкіри

Магістралі циркуляції води в процесі зоління шкіри представлено на слайдii 02.00.

Промивання

Для проведення промивання сировина завантажується в барабан, після чого закриваються клапани, опускається захисний бар'єр і додається вода. Потім захисний бар'єр піднімається. В барабан додається кальцинована сода, а за необхідності — ПАР (поверхнево-активні речовини). Після цього закривається люк, захисний бар'єр знову опускається, і барабан приводиться в обертання.

Після деякого часу обертання відкривається клапан для промивання, і відпрацьована рідина зливається під час обертання барабана. Коли промивання завершено, барабан зупиняється, і клапан промивання закривається. Цей процес дозволяє ефективно очистити сировину від залишків хімічних речовин або інших забруднень, підготовляючи її до подальшої обробки.

Відмока

У процесі відмоки в барабан подається вода, після чого піднімається захисний бар'єр і відкривається люк. До барабана додають кальциновану соду, а за необхідності — інші хімічні реагенти, такі як антисептики та прискорювачі відмоки. Після завантаження інгредієнтів люк закривається, і захисний бар'єр опускається.

Через певний час знову піднімається захисний бар'єр, відкривається барабан, і проводиться контроль процесу відмоки. Під час контролю перевіряється, чи стали шкури м'якими по всій площі, а також чи мають вони рівномірно білий колір на зрізі.

Параметри відпрацьованої ванни: рН повинно бути в межах 7,5-10,0 (цей показник контролюється за вимогою технолога), а температура повинна коливатися від 14 до 35°C (контролюється в 55% випадків протягом дня). Після завершення процесу відкривається клапан для промивання, і відпрацьована рідина зливається під час обертання барабана в каналізацію. Потім барабан зупиняється, і клапан промивання закривається. Цей процес дозволяє ефективно очистити шкіру та підготувати її до подальшої обробки.

Зоління

Для процесу зоління в нерухомий барабан подається вода. Піднімається захисний бар'єр, відкривається люк, і в барабан завантажуються матеріали для зоління. Після цього люк закривається, захисний бар'єр опускається, і барабан приводиться в обертання.

Після подачі матеріалу обробка триває в режимі обертання від 30 до 180 хвилин, а потім обертання продовжується ще від 9 до 14 годин, залежно від технології. Наприкінці процесу зоління проводиться контроль якості: з кожної партії сировини беруть три шкури для перевірки. Шкури після зоління повинні бути повністю обезволошеними, однорідними і напівпрозорими на зрізі, який робиться в огузочній частині шкіри на відстані 10 см від лінії хребта.

Після завершення процесу відкривається клапан для промивання, і зольник зливається в каналізацію під час обертання барабана. Потім клапан промивання закривається, і барабан зупиняється. Цей етап дозволяє досягти необхідної якості шкіри для подальших операцій обробки.

Промивання

У нерухомий барабан подається вода, після чого барабан приводиться в обертання. Відкривається клапан для промивання, і відпрацьована рідина зливається під час обертання барабана. Як тільки процес промивання завершено, клапан закривається, а барабан зупиняється. Цей етап дозволяє ефективно очистити сировину від залишкових хімічних речовин або інших забруднень, підготовлюючи матеріал до подальшої обробки.

1.2.1 Значення температури води в технологічному процесі зоління шкіри

Температура води є важливим параметром в технологічному процесі зоління шкіри, оскільки вона безпосередньо впливає на ефективність протікання хімічних реакцій та фізичних змін, які відбуваються з матеріалом. У процесі зоління шкіра обробляється хімічними речовинами, що забезпечують її стабільність, еластичність та довговічність. Ось кілька основних моментів, чому температура води важлива:

1. Швидкість хімічних реакцій: При високих температурах хімічні реакції, які відбуваються під час зоління (наприклад, з кислотою або хромовими сполуками), проходять швидше. Вода зазвичай використовується для розчинення реагентів, і при підвищенні температури забезпечується їх більш інтенсивне розчинення.

2. Поглинання хімічних реагентів шкірою: Температура води впливає на те, як добре шкіра поглинає хімічні речовини, наприклад, хром або таніни. Тепла вода сприяє більш глибокому проникненню реагентів у структуру шкіри, що дозволяє досягти більш високої якості зоління.

3. Контроль текстури шкіри: Під час процесу зоління температура води впливає на текстуру шкіри, її міцність, еластичність і вологоутримуючі властивості. Неправильно підібрана температура може призвести до того, що шкіра стане занадто жорсткою або, навпаки, занадто м'якою.

4. Покращення ефективності витрати реагентів: На певних температурах (наприклад, від 40 до 60°C) зоління стає більш ефективним з точки зору витрати хімікатів. Це допомагає знизити витрати реагентів і забезпечити стабільний процес.

5. Підвищення рівномірності обробки: Температура також забезпечує рівномірне прогрівання шкіри, що важливо для досягнення однорідного результату. Нерівномірний прогрів може призвести до дефектів, таких як плями або нерівномірний відтінок шкіри.

Загалом, температура води повинна бути точно відрегульована, щоб забезпечити оптимальні умови для обробки шкіри, покращити якість зоління та мінімізувати можливі дефекти у кінцевому продукті.

1.2.2 Реагенти і їх кількість у воді в процесі зоління шкіри

У процесі зоління шкіри використовуються різноманітні хімічні реагенти, які взаємодіють з шкірою, забезпечуючи її стабільність, еластичність та захист від гниття. Зоління може проводитися за допомогою різних методів, зокрема хромового, рослинного (танінового) або іншого. Ось основні реагенти, що додаються до води в кожному з цих методів:

1. Хромове зоління: Хромове зоління є одним з найбільш поширених методів. У цьому процесі використовуються солі хрому, зокрема хромовий сульфат. Основні реагенти та їх кількість:

- Хромовий сульфат ($\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$): Це основний реагент у хромовому золінні. Зазвичай додається у кількості від 4 до 10% від маси шкіри, в залежності від вимог до кінцевого продукту. Хромові сполуки створюють стабільну хімічну структуру в шкірі, яка робить її більш міцною і водостійкою.

- Сульфат натрію (Na_2SO_4) або сульфат кальцію (CaSO_4): Допоміжні реагенти, які використовуються для підтримки стабільності розчину хромового сульфату. Можуть додаватися у кількості 0.5-2% від маси шкіри.

- Формальдегід (CH_2O): Іноді додається для покращення процесу хромового зоління та стабілізації шкіри. Його дозування зазвичай становить 0.2-1% від маси шкіри.

- Кислоти (наприклад, сірчана кислота, H_2SO_4): Використовуються для регулювання pH розчину, зазвичай до 3-5 для оптимальної взаємодії хрому з шкірою.

2. Танінове (рослинне) зоління:

У цьому процесі використовуються природні рослинні таніни (фенольні сполуки), які здатні утворювати зв'язки з колагеном шкіри. Основні реагенти та їх кількість:

- Таніни (екстракти деревини дуба, каштану, берези): Зазвичай додаються у кількості від 10 до 30% від маси шкіри. Вони можуть бути в розчині води, і чим вища концентрація танінів, тим глибше та ефективніше відбувається зоління.

- Кислоти (оцтова, лимонна або сірчана кислота): Використовуються для підтримки кислотності розчину. рН зазвичай підтримується в межах 3-5.

- Мінеральні солі (наприклад, сульфат магнію, $MgSO_4$): Використовуються для покращення процесу проникнення танінів у шкіру.

3. Зоління за допомогою алюмінієвих або залізних сполук:

Цей метод менш поширений, але використовуються такі реагенти:

- Алюмінієві солі (сульфат алюмінію): Додаються в кількості 1-3% від маси шкіри.

- Солі заліза: Наприклад, сульфат заліза, також додається у невеликих кількостях (1-2%) для зміцнення шкіри.

4. Сучасні методи зоління (на основі органічних сполук):

Застосовуються нові органічні препарати, які є менш шкідливими для довкілля та здоров'я працівників.

- Органічні таніноподібні речовини: Сучасні синтетичні таніни часто використовуються в комбінації з традиційними для зниження токсичності. Кількість може варіюватися, але зазвичай це від 5 до 15% від маси шкіри.

- Активовані полімери та інші хімічні стабілізатори: Використовуються для покращення еластичності шкіри та її вологостійкості.

Параметри, які варто враховувати:

- Концентрація реагентів: Додавання занадто великої кількості хімічних сполук може призвести до перепряження шкіри або її жорсткості. Занадто низька концентрація може зробити процес зоління недостатньо ефективним.

- Час впливу: Час взаємодії шкіри з реагентами також критичний. Зазвичай зоління займає від кількох годин до кількох днів.

- Температура води: Як уже згадувалося, температура води має значення для швидкості хімічних реакцій та ефективності процесу.

Загалом, процес зоління вимагає точного контролю над усіма параметрами, щоб досягти високоякісної обробки шкіри, яка буде еластичною, міцною та стійкою до зовнішніх впливів.

1.2.3 Межі зміни температури води в процесі зоління шкіри

Температура води в процесі зоління шкіри має важливе значення, оскільки вона впливає на швидкість хімічних реакцій, проникнення реагентів у шкіру та загальний результат процесу. Зазвичай температура води варіюється в межах певних значень в залежності від методу зоління та стадії процесу. Ось основні температурні діапазони для різних типів зоління:

1. Хромове зоління:

- Температура води зазвичай знаходиться в межах 30-40°C для основної частини процесу.
- На початкових етапах температура може бути трохи нижчою (наприклад, 20-30°C), щоб забезпечити плавний вступ хімічних реагентів до шкіри.
- Для прискорення процесу та покращення глибини проникнення хромових солей температура може бути збільшена до 45-50°C, але перевищення цієї температури може призвести до погіршення якості шкіри або її пошкодження.
- При підготовці та нейтралізації температура води може бути в межах 15-20°C, щоб контролювати ступінь взаємодії реагентів.

2. Танінове (рослинне) зоління:

- В процесі танінового зоління температура води зазвичай підтримується на рівні 20-40°C.
- На ранніх етапах температура може бути на нижчому рівні (20-25°C) для забезпечення повільного, але стабільного процесу проникнення танінів.
- Пізніше, для прискорення процесу та кращого зв'язування танінів з колагеном шкіри, температура може бути підвищена до 35-40°C.
- Підвищення температури вище 40°C може призвести до пошкодження шкіри або до погіршення якості зоління, тому цей процес зазвичай контролюється в більш поміркованих межах.

3. Зоління за допомогою алюмінієвих або залізних сполук:

- В цьому випадку температура води може бути 20-30°C, щоб забезпечити рівномірне та повільне проникнення реагентів у шкіру.

- Температура не перевищує 35°C, оскільки при високих температурах може відбуватися непотрібне осадження або агрегація металевих солей.

4. Сучасні методи зоління (з використанням органічних сполук):

- Для нових синтетичних методів температура може варіюватися в межах 20-35°C, щоб забезпечити оптимальну активність органічних речовин і ефективно зоління.

Отже, температура води в процесі зоління шкіри може змінюватися в межах 20-50°C, в залежності від стадії процесу та використовуваних реагентів. На початкових етапах вона зазвичай нижча (20-30°C), а в процесі активного зоління (особливо хромовим способом) може бути підвищена до 40-50°C для прискорення реакцій, але вища температура може погіршити якість шкіри, тому її потрібно контролювати.

1.2.4 Визначення якості шкіри в процесі зоління

Якість шкіри в процесі зоління визначається кількома ключовими параметрами, які залежать від типу зоління (хромове, танінове або інше) та технології обробки. Ось основні фактори, за якими оцінюється якість шкіри під час і після процесу зоління:

1. Міцність і стійкість до розтягування:

- Метод оцінки: За допомогою тесту на розтягнення вимірюють максимальну напругу, яку шкіра може витримати без розриву. Це дозволяє визначити, наскільки добре зшитий колаген у шкірі після зоління.

- Нормальні значення: Високоякісна шкіра має високі показники міцності на розтягування і не повинна розриватися при середніх навантаженнях.

2. Еластичність:

- Метод оцінки: Шкіру намагаються згинати і розтягувати, щоб визначити її здатність повертатися до початкового стану. Це тестує, наскільки добре реагує шкіра на навантаження і чи здатна вона зберігати свою форму.

- Нормальні значення: Еластична шкіра повинна повертатися до своєї форми без значних пошкоджень. Погіршена еластичність може свідчити про надмірне зоління або використання неправильних хімікатів.

3. Водостійкість:

- Метод оцінки: Визначається за допомогою випробувань на поглинання води. Шкіра має бути стійкою до вологи і не повинна сильно поглинати воду, що може призвести до її псування чи розм'якшення.

- Нормальні значення: Хороша шкіра повинна бути здатна витримувати короточасне потрапляння вологи, зберігаючи свою структуру і не ставши водопоглинаючою. Висока водостійкість є ознакою якісного зоління.

4. Колір та текстура:

- Метод оцінки: Оцінюється рівномірність кольору та відсутність плям або дефектів на поверхні шкіри. Текстура повинна бути однорідною, без зморшок або тріщин.

- Нормальні значення: Шкіра повинна мати рівний колір без плям, розривів або порушень структури. Рівномірність кольору є одним з найважливіших показників для виробників.

5. Структура та гнучкість:

- Метод оцінки: Оцінка відбувається за допомогою механічних тестів на гнучкість і товщину. Шкіра повинна бути достатньо м'якою і гнучкою, але водночас досить міцною.

- Нормальні значення: Якісна шкіра має добре розвинену структуру, що дозволяє їй зберігати свою форму при згинанні і вигині, але при цьому не ламатися або розтягуватися.

6. Товщина шкіри:

- Метод оцінки: Вимірюється за допомогою мікрометра або іншого пристрою для вимірювання товщини матеріалу.

- Нормальні значення: Товщина шкіри повинна бути рівною по всій її поверхні, і не повинно бути надмірного варіювання, що може свідчити про нерівномірне зоління.

7. Механічна стабільність:

- Метод оцінки: Визначається через випробування на стискання, розтягування і вигин. Якісна шкіра повинна зберігати свої властивості під час цих тестів, не втрачаючи еластичності і міцності.

- Нормальні значення: Шкіра не повинна розтягуватися або деформуватися при механічному впливі, що свідчить про її стабільність.

8. Залишкові хімічні залишки:

- Метод оцінки: Після зоління шкіру тестують на залишкові хімічні сполуки, які можуть залишатися в матеріалі, особливо в разі використання хромових або інших металевих солей.

- Нормальні значення: Якісна шкіра повинна містити мінімальну кількість залишкових хімічних речовин, щоб уникнути токсичності та забезпечити безпеку використання. Шкіра, яка містить надмірні залишки хімічних речовин, може мати неприємний запах, стати крихкою або навіть токсичною.

9. Проблеми з дефектами:

- Метод оцінки: Під час обробки шкіри перевіряють на наявність дефектів, таких як пори, тріщини, вм'ятини або нерівномірні ділянки.

- Нормальні значення: Шкіра повинна бути без значних дефектів. Присутність дефектів вказує на погану якість зоління або неконтрольований процес.

10. Гармонійне зоління та рівномірний розподіл реагентів:

- Метод оцінки: Проводиться шляхом перевірки на рівномірність золотистого кольору, якості хімічної реакції та проникнення реагентів.

- Нормальні значення: Якісно золений матеріал має рівномірний розподіл хімічних реагентів і не має місць з надмірною або недостатньою концентрацією золення.

Отже, для визначення якості шкіри в процесі зоління використовують цілий ряд методів, які оцінюють механічні, фізичні та хімічні властивості шкіри. Важливими показниками є міцність, еластичність, гнучкість, водостійкість, однорідність текстури і кольору, а також відсутність дефектів і залишкових хімічних сполук.

1.2.5 Вплив температури води на міцність шкіри в процесі зоління

Температура води має значний вплив на міцність шкіри в процесі зоління, оскільки вона впливає на хімічні та фізичні процеси, що відбуваються в матеріалі. Зокрема, температура регулює швидкість хімічних реакцій, проникнення реагентів і загальний процес обробки шкіри. Ось як температура води може вплинути на міцність шкіри в процесі зоління:

1. Вплив на хімічні реакції:

- Зоління з хромом: При високих температурах (близько 40-50°C) хромові солі швидше вступають в реакцію з колагеновими волокнами шкіри, що може призвести до більш ефективного утворення хімічних зв'язків між молекулами колагену і хромом. Це сприяє підвищенню міцності шкіри, робить її більш водостійкою та зносостійкою.

- Танінове зоління: При підвищеній температурі (близько 30-40°C) таніни краще проникають у шкіру і утворюють більш міцні зв'язки з колагеном. Однак якщо температура занадто висока, таніни можуть погано взаємодіяти з шкірою або викликати її розм'якшення, що негативно позначається на міцності.

2. Швидкість процесу зоління:

- Вища температура пришвидшує процес зоління, що може призвести до більш рівномірного і глибокого проникнення хімічних реагентів у шкіру. У результаті, шкіра набуває більш стабільної структури, що сприяє її міцності. Але якщо процес відбувається занадто швидко або при надмірно високій температурі, це може призвести до нерівномірного оброблення шкіри, що знижує її міцність.

3. Збереження еластичності:

- При помірній температурі (25-40°C) хімічні реакції не відбуваються занадто швидко, що дозволяє шкірі зберігати свою еластичність і гнучкість, що важливо для кінцевої міцності матеріалу. Шкіра, що піддається занадто високим температурам (50°C і вище), може втратити частину своєї еластичності і стати крихкою, навіть якщо її міцність на розрив може залишатися високою. Це може призвести до того, що шкіра стане менш стійкою до механічних навантажень і менш здатною витримувати деформації.

4. Температура і структура колагену:

- Колаген — основний структурний компонент шкіри — має властивість змінювати свою структуру під впливом температури. При надмірному нагріванні (вище 50°C) колаген може почати денатуруватися (руйнуватися), що може призвести до втрати міцності шкіри. Низька температура, навпаки, уповільнює процес зоління, що може призвести до недостатнього міцного зв'язування колагену з хімічними реагентами.

5. Перепрацьованість і перепалення шкіри:

- Якщо температура води занадто висока і зоління відбувається дуже швидко, шкіра може стати перепрацьованою. Це може призвести до її «перепалення», коли вона стає надмірно жорсткою і ламкою, що знижує її міцність.

- Висока температура також може сприяти надмірному використанню хімічних реагентів, що може викликати непотрібне виснаження шкіри, збільшуючи її крихкість.

6. Оптимальна температура для міцності шкіри:

- Для більшості типів зоління оптимальний діапазон температури води складає 30-40°C. У цьому діапазоні шкіра стає міцною, еластичною і стійкою до зовнішніх впливів, не втрачаючи своїх природних властивостей.

- Якщо температура води підвищується вище 40°C, потрібно ретельно контролювати час впливу, оскільки надмірне нагрівання може негативно позначитися на якості шкіри.

Отже, температура води має значний вплив на міцність шкіри в процесі зоління. Вища температура може сприяти швидкому і ефективному золінню, але надмірне підвищення температури може призвести до денатурації колагену, втрати еластичності, нерівномірного оброблення або навіть пошкодження шкіри. Оптимальна температура для зоління шкіри зазвичай знаходиться в межах 30-40°C, що дозволяє досягти збалансованих результатів з хорошою міцністю та еластичністю матеріалу.

1.2.6 Товщина зразків шкіри після процесу зоління

Товщина зразків шкіри після процесу зоління може варіюватися в залежності від кількох факторів, таких як тип шкіри, метод зоління, технологія обробки та вимоги до кінцевого продукту. Ось деякі орієнтовні значення товщини шкіри після зоління для різних випадків:

1. Товщина шкіри в результаті хромового зоління:

- Товщина шкіри після хромового зоління може коливатися в межах 1-3 мм для стандартних виробів.

- Для товстих шкіряних виробів, таких як шкіра для взуття, сумок чи суміжних виробів, товщина може бути 3-5 мм або більше.

- Шкіра для легких виробів, наприклад, для одягу або м'яких аксесуарів, зазвичай має товщину 1-1,5 мм.

2. Товщина шкіри в результаті танінового зоління:

- Танінова шкіра зазвичай має товщину 1,5-3 мм, залежно від типу шкіри і методів обробки.

- Для виробів, що потребують більшої міцності (наприклад, для чобіт або сумок), товщина може бути 3-4 мм.

- Танінове зоління може також використовуватися для обробки шкіри, яку потім обробляють додатково для виготовлення більш товстих або спеціальних виробів.

3. Шкіра для легких і декоративних виробів:

- Для легких декоративних виробів, таких як шкіряні аксесуари, куртки чи одяг, шкіра після зоління зазвичай має товщину 0,8-1,5 мм.

- Якщо необхідна більша еластичність і м'якість, товщина шкіри може бути ще меншою (приблизно 0,6 мм).

4. Товщина шкіри для спеціалізованих продуктів:

- Для шкіри, що використовуються для таких продуктів, як меблеві оббивки або автомобільні сидіння, товщина може коливатися від 1,5 мм до 5 мм.

- В залежності від вимог до міцності і стійкості до зношування, товщина може бути збільшена для забезпечення додаткової довговічності і комфортності виробу.

5. Шкіра для ручного виробництва (взуття, ремені, сумки):

- Для ручної обробки, яка вимагає товщини та міцності, зразки можуть мати товщину від 2 до 5 мм.

- Взуттєва шкіра, наприклад, часто має товщину близько 2-3 мм, в залежності від моделі та призначення.

Важливі фактори, що впливають на товщину:

1. Тип шкіри: Товщина шкіри може сильно залежати від того, чи використовується це шкіра великої рогатої худоби (велика товщина), чи, наприклад, овець чи козлів (менша товщина).

2. Метод зоління: Хромове зоління зазвичай дає більш міцну шкіру з більш однорідною товщиною, в той час як танінове зоління може призводити до різних варіацій товщини в залежності від процесу.

3. Обробка після зоління: Додаткові технології обробки, такі як вологе розтягування, пресування або інші механічні дії, можуть збільшити або зменшити товщину шкіри, залежно від потрібного результату.

4. Призначення шкіри: В залежності від того, для яких цілей використовується шкіра (одяг, меблі, взуття, аксесуари), її товщина може бути адаптована для досягнення бажаних механічних та естетичних властивостей.

Отже, товщина шкіри після процесу зоління може змінюватися в залежності від методу обробки та вимог до готового виробу. Зазвичай товщина коливається від 0,8 мм (для легких виробів) до 5 мм і більше (для спеціалізованих продуктів, таких як меблі або взуття).

1.2.7 Методи вимірювання міцності шкіри після процесу зоління

Міцність шкіри після процесу зоління вимірюється за допомогою кількох стандартних методів, які дозволяють оцінити її механічні властивості, такі як

стійкість до розриву, розтягнення, зносу та інших деформацій. Ось основні методи вимірювання міцності шкіри після зоління:

1. Тест на розрив (розривну міцність)

Цей тест визначає максимальне навантаження, яке шкіра може витримати, перш ніж вона розірветься. Це один із найбільш точних методів оцінки міцності шкіри.

- Процедура: Шкіра розрізається на зразки певного розміру (наприклад, 25 мм x 100 мм), які потім піддаються розтягуванню до моменту розриву. Тест проводиться за допомогою спеціальних приладів, таких як розривний апарат (наприклад, машини для випробування на розрив ASTM).

- Результат: Оцінюється максимальна сила, яку шкіра може витримати перед розривом, та деформація, яка відбувається до цього моменту. Розривна міцність зазвичай вимірюється в Ньютонах (Н) або Кгс (кілограм-сила).

2. Тест на розтягування (показники міцності на розтягнення)

Цей тест дозволяє виміряти, скільки шкіра може розтягуватися, перш ніж вона почне руйнуватися або деформуватися.

- Процедура: Зразки шкіри піддаються поступовому розтягуванню на спеціальних приладах, таких як універсальні машини для тестування на розтягнення (наприклад, ASTM D412). Під час тесту вимірюється, на скільки відсотків збільшується довжина зразка до моменту його руйнування.

- Результат: Оцінюється максимальна сила, яка необхідна для розтягування шкіри на певний відсоток від початкової довжини. Це дозволяє визначити, наскільки шкіра стійка до розтягування при механічному навантаженні.

3. Тест на зносостійкість (abrasion resistance)

Цей тест оцінює стійкість шкіри до зношування та пошкодження при тривалому терті.

- Процедура: Шкіра піддається абразивному впливу за допомогою спеціальних машин, що імітують тертя (наприклад, машини для випробувань на стирання по методи ASTM). Під час тесту шкіра тертями проходить через

абразивні матеріали (наприклад, наждачний папір або тканину). Оцінюється кількість циклів тертя до появи видимих пошкоджень або зношування.

- Результат: Вимірюється кількість циклів, які шкіра витримує до значних пошкоджень, що визначає її зносостійкість.

4. Тест на твердість (hardness)

Цей тест дозволяє оцінити, наскільки тверда або м'яка шкіра після процесу зоління, що також впливає на її міцність при використанні.

- Процедура: Використовується спеціальний прилад, що вимірює глибину, на яку вдавлюється наконечник в шкіру під певним навантаженням. Це може бути, наприклад, шкала Shore A або Shore D для вимірювання твердості.

- Результат: Вимірюється твердість шкіри, що дозволяє визначити її здатність до деформації при механічних навантаженнях.

5. Тест на гнучкість (flexibility)

Цей тест вимірює, наскільки шкіра здатна згинатися без пошкодження або зламання, що важливо для оцінки її міцності та стійкості до механічних навантажень.

- Процедура: Шкіра згинається вручну або за допомогою автоматичних пристроїв до певного кута. Кількість циклів, після яких шкіра починає тріскатися або рватися, визначає її гнучкість.

- Результат: Оцінюється кількість згинань, після яких на шкірі з'являються тріщини або деформації.

6. Тест на стійкість до води (водопоглинання)

Цей тест дозволяє визначити, як міцно шкіра утримує свою форму і властивості при контакті з водою. Висока вологість може вплинути на механічні характеристики шкіри.

- Процедура: Шкіра піддається зануренню у воду на певний час, після чого оцінюється її здатність відновити свою форму або структурну цілісність після висихання. Це важливо для перевірки міцності шкіри, яка може бути вражена водою.

- Результат: Оцінюється кількість води, яку поглинає шкіра, а також її здатність до відновлення після впливу вологості.

7. Тест на натяг (tensile strength)

Цей тест визначає, яку максимальну напругу може витримати шкіра до того, як вона почне деформуватися.

- Процедура: Шкіра натягується на прилад до тих пір, поки не відбудеться розрив або значна деформація.

- Результат: Оцінюється максимально допустима напруга на одиницю площі.

Отже, міцність шкіри після зоління визначається за допомогою різних механічних тестів, включаючи випробування на розрив, розтягнення, зносостійкість, твердість, гнучкість і водопоглинання. Всі ці тести дозволяють оцінити, наскільки шкіра здатна витримувати різні механічні та експлуатаційні навантаження після обробки, що є ключовим для визначення її якості та придатності для подальшого використання.

1.2.8 Межі зміни розривної міцності шкіри

Розривна міцність шкіри може змінюватися в залежності від кількох факторів, таких як тип шкіри, метод зоління, обробка, товщина матеріалу, а також призначення шкіри. Зазвичай розривна міцність вимірюється в Ньютонах (Н) або кгс (кілограм-сила), і її значення варіюються в залежності від конкретних умов. Ось орієнтовні межі розривної міцності для різних типів шкіри:

1. Зоління шкіри хромом:

Шкіра, оброблена хромом, має високу розривну міцність завдяки ефективному зв'язуванню колагенових волокон. Розривна міцність хромованої шкіри може бути:

- Для звичайної шкіри: від 1500 Н до 3000 Н на 50 мм зразка.

- Для товстої шкіри (наприклад, для чобіт або сумок): може досягати 5000 Н і більше.

Це робить хромовану шкіру дуже міцною і стійкою до розриву, особливо при великих навантаженнях.

2. Танінова шкіра:

Танінове зоління зазвичай дає шкіру з більш низькими показниками розривної міцності порівняно з хромованою шкірою, хоча вона все ще є досить міцною.

- Для звичайної танінової шкіри**: розривна міцність може коливатися від 1000 Н до 2500 Н на 50 мм.

- Для товстої або важкої танінової шкіри: цей показник може бути близьким до 3000 Н, хоча інколи досягає 4000 Н.

3. Шкіра для виробництва одягу та аксесуарів:

Для легких виробів, таких як шкіряні сумки, ремені або одяг, розривна міцність зазвичай нижча, оскільки такі вироби не піддаються значним механічним навантаженням.

- Для тонкої шкіри (наприклад, для одягу): розривна міцність може бути 1000-1500 Н на 50 мм зразка.

4. Шкіра для взуття та меблів:

Товстіша шкіра, що використовується для виробництва взуття або оббивки меблів, має вищу розривну міцність, оскільки вона повинна витримувати значні механічні навантаження.

- Для шкіри взуття та меблів: розривна міцність може коливатися від 2500 Н до 5000 Н, залежно від товщини та виду обробки.

5. Шкіра для спеціальних застосувань:

Для деяких спеціалізованих виробів, таких як шкіра для броньованих сумок або технічних виробів, розривна міцність може бути значно вищою.

- Для спеціальних виробів: розривна міцність може перевищувати 5000 Н, і досягати 6000 Н або більше.

6. Фактори, що впливають на розривну міцність:

- Тип зоління: хромове зоління зазвичай дає вищу міцність, ніж танінове.

- Товщина шкіри: товща шкіра має вищу розривну міцність, оскільки вміщує більше колагенових волокон.

- Методи обробки: після зоління можуть проводитися додаткові обробки (наприклад, дублення, пресування), які можуть підвищити міцність матеріалу.

- Призначення шкіри: для більш інтенсивно використовуваних виробів (наприклад, для взуття або меблів) розривна міцність повинна бути вищою.

Отже, розривна міцність шкіри після зоління може коливатися від 1000 Н для тонких виробів до 5000 Н і більше для товстих, спеціалізованих шкір. Вищі показники розривної міцності характерні для шкіри, що використовується для технічних або важких виробів, таких як меблі, взуття або спеціальні аксесуари.

В результаті теоретичних досліджень знайдені значення розривних міцностей зразків шкіри різної товщини при різних значеннях температури води.

Ці дані представлені у табл. 1.1

Таблиця 1.1 – Значення розривних міцностей зразків шкіри різної товщини при різних значеннях температури води

Температура води, град	Товщина зразків шкіри, мм												
	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3	3,2
24	600	700	750	800	850	880	920	1000	1100	1160	1220	1300	1400
26	700	720	760	820	900	950	980	1080	1180	1270	1310	1420	1530
28	750	740	790	850	930	1000	1060	1160	1260	1360	1400	1530	1700
30	780	800	830	900	980	1050	1110	1220	1350	1420	1490	1660	1910
32	800	820	850	930	1020	1080	1170	1300	1410	1500	1590	1790	2130
34	820	840	890	970	1100	1120	1220	1380	1490	1550	1660	1910	2340
36	830	860	900	1010	1130	1180	1300	1410	1540	1620	1770	2020	2560
38	860	880	930	1080	1180	1230	1350	1480	1610	1710	1900	2180	2770
40	890	900	980	1120	1220	1300	1400	1520	1690	1800	2000	2300	3000
42	910	950	1020	1200	1290	1360	1460	1600	1760	1900	2120	2450	3300
44	950	1000	1080	1250	1350	1400	1500	1620	1820	1980	2220	2610	3380
46	1000	1020	1100	1220	1300	1380	1480	1600	1800	2000	2200	2700	3340
48	950	1000	1050	1200	1280	1360	1460	1580	1780	1980	2190	2650	3320
50	920	980	1020	1180	1260	1340	1450	1560	1760	1950	2160	2600	3300

Отримані дані (табл. 1.1) дають можливість побудувати графіки залежностей розривної міцності для зразків шкіри різної товщини від температури води. Ці графіки наведені на рис. 1.1.

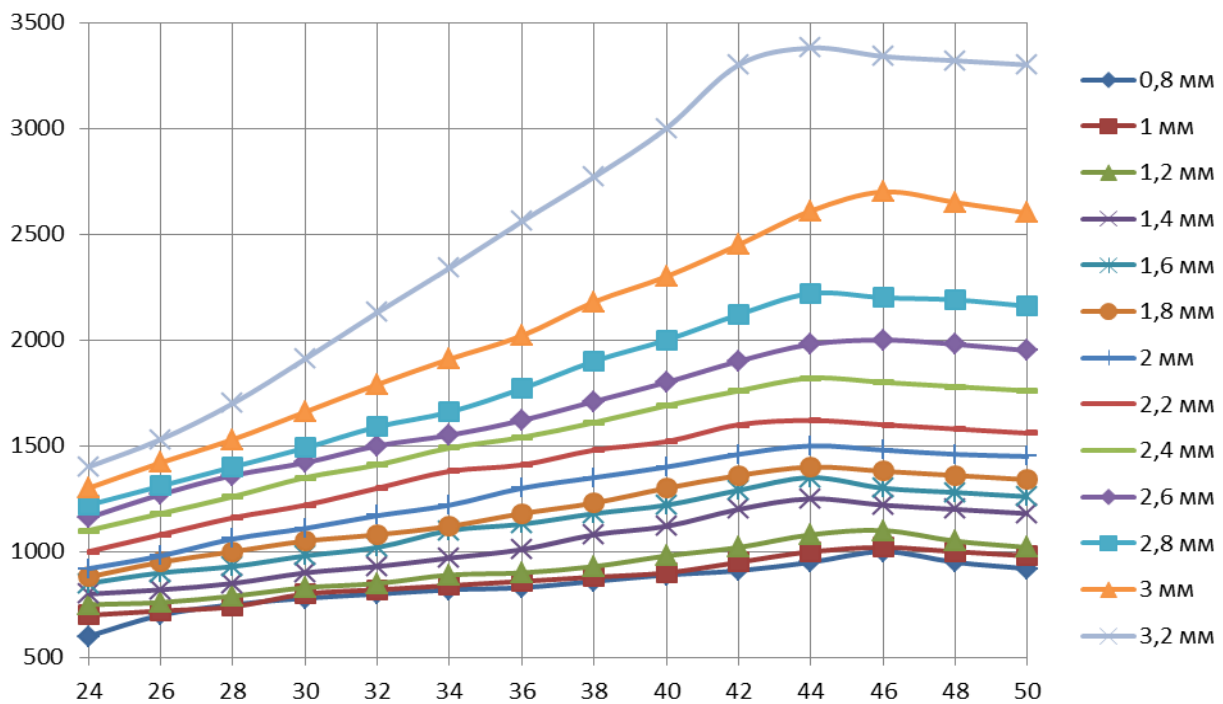


Рисунок 1.1 – Графіки залежностей розривної міцності для зразків шкіри різної товщини від температури води

Отримані дані (табл. 1.1) також дають можливість побудувати графіки залежностей розривної міцності шкіри для різної температури від товщини зразків. Ці графіки наведені на рис. 1.2.

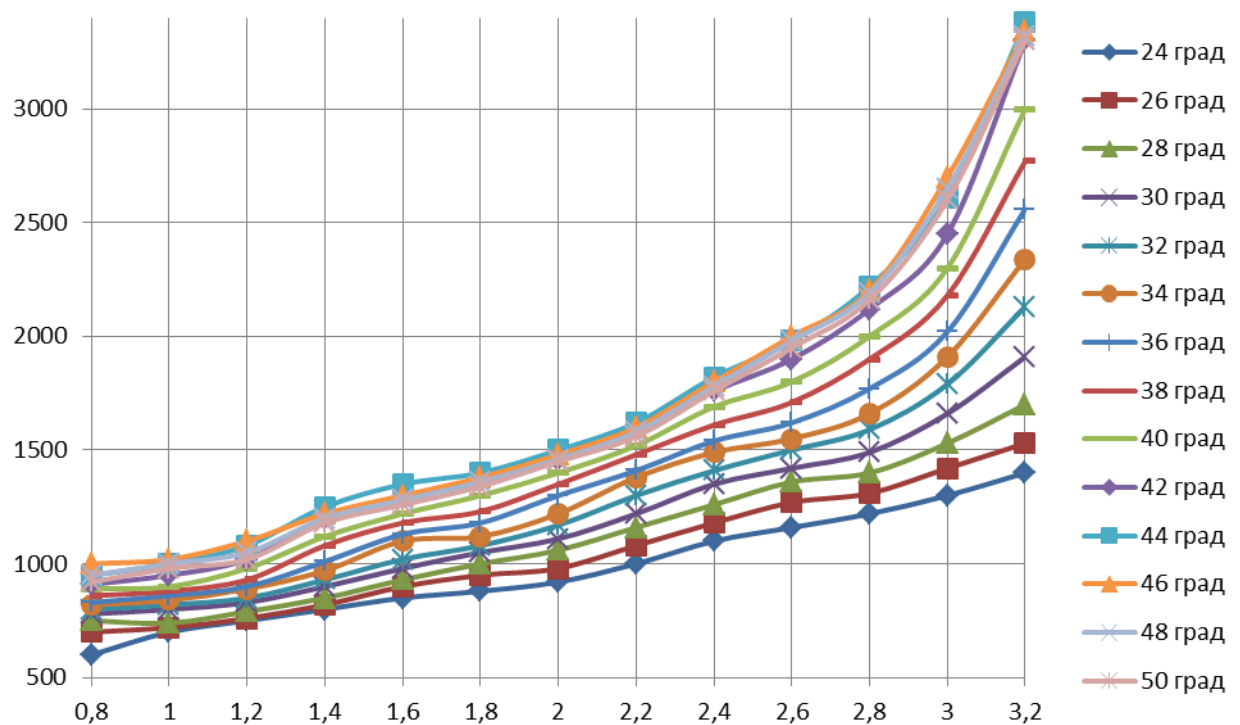


Рисунок 1.2 – Графіки залежностей розривної міцності шкіри для різної температури від товщини зразків

2 ОГЛЯД РІШЕНЬ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИНЦИПУ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ

2.1 Огляд методів вимірювання температури технологічної води, що подається в процес зоління

2.1.1 Загальний огляд датчиків

Використовувані датчики є надзвичайно різноманітними і можуть бути класифіковані за різними критеріями, залежно від вимірюваних величин [8,9]. Зокрема, існують витратоміри, датчики механічних переміщень, пневматичні та електричні датчики, а також пристрої для вимірювання зусилля, швидкості, прискорення, температури, тиску та інші.

У сучасній промисловості частка вимірюваних величин розподіляється наступним чином: витрата (як масова, так і об'ємна) займає 15%, температура — 50%, тиск — 10%, час — 4%, рівень — 5%, кількість (маса, об'єм) — 5%, а електричні та магнітні величини становлять менше 4%. Ці статистичні дані допомагають краще розуміти попит на різні типи датчиків і дозволяють ефективно планувати їх застосування відповідно до специфічних вимог технологічних процесів в різних галузях промисловості.

Залежно від типу вихідної величини, в яку перетворюється вхідна величина, датчики поділяються на неелектричні та електричні. Серед електричних датчиків можна виокремити датчики частоти змінного струму (які вимірюють електричний потенціал або напругу), датчики постійного струму (які також вимірюють електричну напругу або потенціал), а також датчики амплітуди змінного струму (що вимірюють зміну електричної амплітуди). До іншої категорії належать датчики опору, що можуть вимірювати активний, індуктивний або ємнісний опір, а також інші типи датчиків, що використовуються для специфічних вимірювань в різних технологічних процесах.

Більшість датчиків є електричними пристроями, що зумовлено рядом переваг електричних засобів вимірювання. По-перше, електричні величини є

універсальними, що дозволяє застосовувати їх у різних умовах і для різноманітних вимірювань. По-друге, електричні сигнали легко передавати на великі відстані з високою швидкістю, що значно покращує ефективність передачі даних. Крім того, електричні засоби вимірювання забезпечують високу точність, швидкість реакції та чутливість, що робить їх ідеальними для застосування в автоматизованих системах і сучасних технологічних процесах.

2.1.2 Характеристики датчиків

Датчик температури можна охарактеризувати низкою параметрів, сукупність яких дає змогу порівнювати різні моделі між собою і обирати ті, що найкраще відповідають специфічним вимогам та завданням. Ці характеристики можуть включати діапазон вимірювання температур, точність, чутливість, швидкість реагування, стійкість до зовнішніх факторів (такі як волога, вібрація, хімічні впливи), а також стабільність роботи в умовах тривалого використання. Залежно від цих параметрів, можна вибрати оптимальний датчик для конкретних умов експлуатації та технологічних процесів [10].

Перерахуємо основні з цих характеристик :

1. Функція перетворення представляє собою залежність вихідної величини від величини, що вимірюється, визначаючи, як змінюється результат вимірювання в залежності від вхідного параметра. Ця функція дозволяє точно відображати взаємозв'язок між вимірюваною величиною та вихідним сигналом, що дає змогу отримати необхідні дані для подальшої обробки або контролю :

$$y = f(x) \quad (2.1)$$

Залежність наведена в певних розмірних величинах: x – в даному випадку в одиницях вимірюваної величини, y – представляється в одиницях вихідного сигналу. Для датчиків температури – Ом/с або мВ/К.

2. Чутливість датчика — це величина, що визначає відношення зміни вихідної величини до зміни вхідної величини. Вона характеризує здатність датчика реагувати на незначні зміни вимірюваної величини, тобто, як сильно вихідний сигнал змінюється у відповідь на малий вплив на вхід. Висока чутливість

дозволяє датчику виявляти навіть незначні зміни вимірюваного параметра, що є важливим для забезпечення точності вимірювань у різних умовах:

$$S = dy/dx \quad (2.2)$$

Для лінійної частини функції перетворення чутливість датчика залишається сталою, що означає, що зміна вхідної величини викликає пропорційну зміну вихідного сигналу. Чутливість датчика визначає ефективність і точність процесу перетворення вимірюваної величини, відображаючи, наскільки точно датчик здатний реагувати на зміни вимірюваного параметра. Висока чутливість свідчить про високу точність і здатність датчика виявляти навіть незначні варіації у вимірюваному значенні.

3. Поріг чутливості — це мінімальна зміна вхідної величини, яку датчик здатний точно зафіксувати і виявити. Цей поріг залежить як від властивостей вимірюваного параметра, так і від якості та точності процесу перетворення величини в датчику. Чим менший поріг чутливості, тим точніше датчик може реагувати на незначні зміни вимірюваного параметра, що особливо важливо для складних або високоточних вимірювань.

4. Метрологічні характеристики датчиків визначаються конструктивними особливостями самого пристрою, стабільністю властивостей використовуваних матеріалів, а також специфікою процесів взаємодії датчика з вимірюваним об'єктом. Ці характеристики включають точність, чутливість, лінійність, стабільність показів та інші параметри, які впливають на ефективність вимірювань. Вони залежать від якості конструкції датчика, вибору матеріалів та способу, яким датчик сприймає і перетворює фізичні величини в електричні сигнали.

5. Границя перетворення — це максимальне значення величини, яке датчик може виміряти без виникнення необоротних змін у його конструкції або характеристиках. Зазвичай верхня межа вимірювання датчика є меншою за границю перетворення на щонайменше 10%. Метрологічні характеристики датчика визначають величину його погрешностей та спосіб вимірювання, що залежить від конструкції та принципу роботи. Частина погрешностей може бути випадковою і враховується за допомогою методів математичної статистики, що

дозволяє коригувати результати вимірювань. Систематичні погрішності, які можна передбачити і описати аналітично, можуть бути усунені з результатів вимірювань, що підвищує точність і надійність отриманих даних [11].

- Основними видами систематичних погрішностей є:
- Погрішності, спричинені зміною функції перетворення внаслідок зміни напряму впливу вхідної величини. Для датчиків температури це може бути, наприклад, процеси нагрівання та охолодження, що впливають на точність вимірювання.
- Додаткові погрішності, що виникають через різницю між умовами роботи датчика та тими умовами, при яких була визначена його функція перетворення. Це може стосуватися зміни навколишнього середовища або параметрів, які не були враховані під час калібрування датчика.
- Погрішності, обумовлені невідповідністю динамічних характеристик датчика швидкості зміни вхідної величини. Такі погрішності можуть бути компенсовані введенням коефіцієнта термічної інерції, що дозволяє врахувати затримки в реагуванні датчика.
- Погрішності, спричинені нелінійністю функції перетворення. Це характерно для напівпровідникових датчиків температури, де зростання чи зменшення температури може призводити до нелінійних змін сигналу.
- Погрішності, пов'язані з нестабільністю функції перетворення через процеси старіння матеріалів. З часом матеріали датчика можуть втрачати свої властивості, що впливає на точність вимірювання і потребує періодичної перевірки та калібрування обладнання.

Надійність оцінюється в двох основних аспектах: механічній та метрологічній надійності.

- Механічна надійність визначається здатністю датчика витримувати механічні навантаження, удари, вібрації та інші фізичні впливи під час експлуатації. Вона гарантує, що пристрій не втратить працездатність через механічні дефекти, що можуть виникнути в умовах важкої роботи або у випадку зовнішніх пошкоджень.

- Метрологічна надійність пов'язана з точністю та стабільністю вимірювань датчика протягом часу. Вона відображає здатність датчика зберігати стабільні метрологічні характеристики, такі як точність, чутливість і відсутність систематичних погрешностей, що можуть виникати через старіння, зміну умов роботи або нестабільність функціональних властивостей [12].

2.1.3 Типи напівпровідникових датчиків температури

Температура впливає на електричні та фізичні параметри напівпровідників, зокрема на кількість носіїв заряду в одиниці об'єму, що, у свою чергу, призводить до зміни електричної провідності матеріалу. Це явище є основою роботи напівпровідникових датчиків температури, таких як терморезистори. В якості датчиків температури також можуть використовуватись діоди та транзистори, де зміна кількості носіїв заряду при зміні температури призводить до зміни струму, що проходить через ці пристрої. Терморезистори, діоди та транзистори здатні забезпечити високу точність вимірювань температури завдяки своїй чутливості до змін температури та можливості інтеграції в електронні системи.

2.1.4 Датчики температури на базі напівпровідникових пристроїв

У датчиках температури, що використовують транзистори і діоди, основою їх роботи є зміна параметрів р-п переходу в середині напівпровідника, залежно від температури. Це явище дозволяє точно вимірювати температуру, оскільки зміни температури впливають на характеристики напівпровідникових матеріалів, такі як струм або напруга через прилад.

Наприклад, датчик TS-560 є напівпровідниковим діодом, розробленим для вимірювання температури в діапазоні від 1 до 50 градусів Цельсія. Його основна погрешність становить $\pm 0,1\%$, що дозволяє забезпечити високу точність вимірювань. Завдяки своїй точності та компактності, такі датчики є популярними у широкому спектрі застосувань, включаючи електроніку, медичні прилади та інші технологічні системи. (рис. 2.1)



Рисунок 2.1 – Загальний вигляд датчика TS-560

Термодатчики типу TET-1 і TET-2, створені на основі транзисторів, в яких емітерний перехід входить до складу одного з плечей моста, широко використовуються для вимірювання температури. Датчик TET-2 призначений для вимірювання температури в домашніх умовах у діапазоні від 0 до +40°C і має основну погрішність не більше $\pm 1^\circ\text{C}$. Термодатчик TET-1 використовується для вимірювань у більш широкому діапазоні температур від 0 до +80°C, з такою ж основною погрішністю $\pm 1^\circ\text{C}$. Обидва типи датчиків відзначаються високою надійністю і точністю, що робить їх ідеальними для побутових пристроїв, таких як термостати, кліматичні системи і інші прилади, де необхідно контролювати температуру з достатньою точністю.

Однією з ключових характеристик для ефективного впровадження термодатчиків на основі діодів і транзисторів є стабільність їх параметрів протягом часу. Дослідження стабільності термодатчиків, заснованих на транзисторах, показали, що параметри, що залежать від температури — зокрема, пряма напруга на р-п переході — змінюються в залежності від температури та тривалості експлуатації. Погрішність вимірювань за допомогою таких датчиків може коливатися в межах від 0,01 до 0,15°C у перший рік експлуатації, а в другий рік вона зменшується до діапазону від 0,002 до 0,04°C. Така стабільність параметрів робить ці термодатчики придатними для довготривалого використання, зберігаючи високу точність вимірювань протягом тривалого часу.

2.1.5 Датчики температури на базі терморезисторів

Терморезистивні датчики температури є одними з найпоширеніших. Їх принцип роботи заснований на температурній залежності опору матеріалів, таких як метали, сплави та напівпровідники, які характеризуються високою стабільністю і відтворюваністю, що робить їх стійкими до дестабілізуючих факторів. Чутливість таких датчиків визначається температурним коефіцієнтом опору (ТКС), який описує, як змінюється опір матеріалу залежно від температури. Ці датчики відзначаються високою точністю вимірювання та здатні працювати в широкому діапазоні температур, що робить їх дуже популярними в різних сферах промисловості та науки [14].

Зміна складу матеріалу чутливого елементу терморезистора дозволяє отримати різні значення температурного коефіцієнта опору (ТКС), як із негативним, так і з позитивним значенням, з діапазоном від $-6,5\%$ до $+20\%/^{\circ}\text{C}$. Номінальні опори чутливих елементів залежать від їх складу і розмірів, і можуть бути в межах від $1\ \text{Ом}$ до $10^6\ \text{Ом}$. Завдяки правильному вибору номінального опору терморезистора можна спростити вимоги до системи регулювання температури, зменшивши потребу в складних підключеннях. Це дозволяє використовувати двопровідне з'єднання між датчиком і системою регулювання, що в свою чергу зменшує погрішності, спричинені довжиною лінії зв'язку, покращуючи точність вимірювання та стабільність роботи системи.

Однак термодатчики цього типу мають певні недоліки. Основним із них є низька тимчасова стабільність і відтворюваність показників, що може вплинути на точність вимірювань протягом тривалого часу експлуатації.

Монокристали демонструють значно вищу стабільність електрофізичних властивостей порівняно з аморфними матеріалами. З цієї причини для виготовлення чутливих елементів термометрів часто використовують монокристалічний кремній та германій, які зарекомендували себе завдяки своїй стабільності та надійності в різних умовах експлуатації.

Датчики виготовляються в двох варіантах: для двопровідної та чотирипровідної схем підключення. Чутливим елементом є тонка пластина,

легована германієм, до якої припаяні золоті виводи. Цей чутливий елемент розміщується в мельхіорову гільзу, на кінці якої є скляна голівка з платиновим кільцем. Платинові виводи припаяні до цього кільця і з'єднані із золотими виводами, що відходять від чутливого елемента, через зварювання всередині гільзи.

З підвищенням температури чутливість таких термометрів значно знижується. Це проявляється в тому, що опір термометра змінюється від сотень МОм до одиничних Ом. Для підтримання високої чутливості до температури 300 К, дослідники пропонують використовувати багатокомпонентне легування германію з додаванням дрібних і глибоких домішок, а також донорних і акцепторних домішок. Така технологія дозволяє покращити стабільність характеристик термометрів при високих температурах.

До цієї категорії належать вугільні термодатчики, які мають особливу провідність, що знаходиться між провідністю металів і напівпровідників. Вони характеризуються значним негативним температурним коефіцієнтом опору (ТКС) і здобули широке застосування в криогенній техніці. В якості чутливого елемента в таких термодатчиках часто використовуються вуглецеві радіотехнічні опори, що дозволяє досягти високої чутливості при дуже низьких температурах. Статичні характеристики термодатчиків для широкого інтервалу температур представляють співвідношенням типу:

$$\ln R = A/T^m + B \quad (2.3)$$

де A , B і m – постійні.

Це рівняння в діапазоні $(3...60)^\circ\text{Кельвін}$ дозволяє отримати апроксимацію експериментальних даних з погрішністю, яка не перевищує $\pm 0,03^\circ\text{К}$.

Існують вуглецеві плівкові термодатчики, чутливий елемент яких створюється шляхом нанесення колоїдної суспензії графіту у воді на тонкі скляні пластинки. Такі датчики використовуються для вимірювання температур у дуже низькому діапазоні, зокрема в інтервалі від $0,03$ до $4,2$ Кельвіна, що робить їх ідеальними для застосувань у криогенних температурах.

Для вимірювання температур у діапазоні від $4,2$ до 273 К використовуються також склевуглецеві термодатчики. Їх чутливий елемент

виготовляється шляхом вилугування щелочноземельного боросилікатного скла, що дозволяє видалити з нього боросилікатну фазу. Після цього пори наповнюються тонко подрібненим вугіллям високої чистоти. Отриманий матеріал висушується, а потім розрізається на пластини. На кінцях пластин у вакуумі напілюються електроди. Далі пластини з електродами розміщуються в платинових гільзах, які наповнюються гелієм і герметизуються.

Термодатчик, розроблений на основі кремнію, легованого золотом, має негативний температурний коефіцієнт опору (ТКС) і використовується для вимірювання температури поверхні в діапазоні від 273 до 330 К. Температурний коефіцієнт цього датчика змінюється від 8% при 273 К до 2–3% при 330 К. Чутливий елемент датчика виготовлений у вигляді паралелепіпеда з монокристалічного кремнію, нижня широка грань якого прикріплена до контактної майданчика, розташованого на пластині з монокристалічного сапфіра. Другий контакт знаходиться на верхній частині чутливого елемента і з'єднаний золотими мікропровідниками з іншим контактним майданчиком. Зверху чутливий елемент покритий смолою для захисту. Обмежений робочий діапазон таких термодатчиків зумовлений тим, що з підвищенням температури температурний коефіцієнт опору (ТКС) зменшується пропорційно. Оскільки номінальний опір (R_n) термодатчика залежить від розмірів чутливого елемента, а при поділі пластини кремнію на окремі елементи неможливо досягти їх повної ідентичності, то в партії спостерігається розкид значень R_n , що складає близько 20 %. Крім того, значення ТКС можуть варіюватися в межах 5 %, що обумовлено різним рівнем легування кремнію під час виробництва. Висока теплова інерція цього термодатчика обмежує його використання в умовах швидких змін температури.

Температурний вимірювальний діапазон можна розширити, підключивши паралельно кремнієвому терморезистору пасивний резистор, опір якого не залежить від температури, при живленні схеми постійним струмом. Альтернативно, можна підключити його послідовно при живленні від джерела постійної напруги. Кремній, легований домішками з низькою енергією активації,

має позитивний температурний коефіцієнт питомого опору і здатний забезпечити стабільні вимірювання в широкому температурному діапазоні.

Остаточні етапи виробництва термодатчиків можуть варіюватися в залежності від компанії-виробника та використовуваної конфігурації приладу. Однак, загальними операціями є припаювання виводів до контактних поверхонь і герметизація чутливих елементів за допомогою смол або скла. У деяких конструкціях кремнієвих датчиків брусок або пластину фіксують механічними контактами, при цьому їхнє положення стабілізують за допомогою частково розплавленої скляної трубки або заливки смолою. Луджені мідні виводи приєднуються до металевих контактів на торцях. Зазвичай робочий діапазон датчиків з кремнієвими чутливими елементами типу p охоплює температури від 223 К до 423 К. Проте деяким виробникам вдається розширити верхню межу робочих температур до 570°C, коли кремнієві чутливі елементи розміщуються в скляному герметичному корпусі.

Отже, на основі чутливих елементів з монокристалічного кремнію були розроблені та серійно випускаються термодатчики, що забезпечують широкий вибір номінальних опорів R_n . Ці датчики здатні працювати в температурному діапазоні, який охоплює кілька сотень градусів Кельвіна, що робить їх універсальними для різних застосувань у промислових та наукових цілях.

Для датчиків цього типу притаманні наступні недоліки:

- Зменшення варіації значень номінального опору (R_n) до 1,2% можливе лише за допомогою відбору чутливих елементів;
- Розкид значень температурного коефіцієнта опору (ТКС), викликаний нерівномірним легуванням кремнію, що обмежує можливість зменшити цей розкид за допомогою сучасних технологій;
- Варіація номінальних опорів у межах 5-10% зумовлена змінами питомого опору та розмірами кремнієвого кристала;
- Висока термічна інерція, яка зумовлена необхідністю захищати напівпровідникові чутливі елементи за допомогою корпусів, що забезпечують ізоляцію від навколишнього середовища і електричну ізоляцію від об'єкта вимірювання.

Також, процес виготовлення таких термодатчиків складно автоматизувати, що вимагає значних зусиль вручну при складанні приладів.

2.1.6 Опис плівкових датчиків температури

Великі перспективи для подальшого вдосконалення плівкових термодатчиків виникли з появою гетероепітаксціальних структур типу «кремній на сапфірі» (КНС). Ці структури представляють собою тонку плівку монокристалічного кремнію, вирощену на підкладці з монокристалічного сапфіра. Використання КНС дозволяє створювати термодатчики, які поєднують переваги як плівкових, так і монокристалічних кремнієвих чутливих елементів, що розширює їх функціональні можливості. Використання плівки монокристалічного кремнію для виготовлення терморезисторів забезпечує підвищену стабільність основних характеристик термодатчиків. Високі ізоляційні властивості сапфіра при температурах до 1300°C дозволяють створювати термодатчики, у яких верхня межа робочих температур обмежена лише фізичними властивостями кремнію. Крім того, високий коефіцієнт теплопровідності сапфіра сприяє зниженню теплової інерції термодатчика.

На сьогодні на основі чутливих елементів з КНС-структур розроблено кілька термодатчиків. Наприклад, термодатчик температури ТЕЕ-295, створений в НВО вимірювальної техніки, має робочий діапазон температур від 73°C до 473°C та основну погрішність 0,25%. Завдяки використанню КНС-структур, цей датчик демонструє високу стабільність та точність вимірювання в широкому температурному діапазоні.

У науковому центрі були розроблені аналогічні датчики з термочутливими елементами, зокрема модель ТЕ-2, яка охоплює температурний діапазон від 73 до 723 К, має похибку 0,25 % і вихідний сигнал в межах 4–20 мА. Лінеаризація вихідного сигналу в цих датчиках реалізована за допомогою одного або двох незалежних резисторів, залежно від типу живлення — від генератора струму або напруги.

Для отримання уніфікованого вихідного сигналу застосовують електронний перетворювач. Мостова схема живиться від стабілізованого джерела постійної напруги 4 В. Інформативний сигнал у вигляді різниці напруги ΔU на вимірювальній діагоналі моста, який пропорційний зміні опору термочутливих резисторів, подається

на вхід диференціального підсилювача електронного перетворювача датчика та перетворюється на стандартний сигнал постійного струму в діапазоні (4...20) мА.

На рис. 2.2. представлено загальний вигляд обраного датчика.



Рисунок 2.2 – Загальний вигляд датчика ТЕ-2

Датчик температури побудований на основі чутливого елементу ТЕ-1 з одним терморезистором. У даній схемі терморезистор $R(t)$, що залежить від температури, разом із лінеаризуючим шунтом R_{π} включаються в ланцюг живлення від стабілізованого джерела постійного струму, яке забезпечує струм 0,8 мА. Окрім того, незалежний резистор R підключений до іншого стабілізованого джерела постійного струму також на 0,8 мА. Різниця в падінні напруги U на цих резисторах, що пропорційна зміні температури, надходить на вхід диференціального підсилювача датчика. Далі ця різниця перетворюється в стандартний вихідний сигнал постійного струму в діапазоні 4...20 мА. Така схема дозволяє забезпечити точність і стабільність вимірювань температури, а також забезпечує відповідність стандартним вимогам для промислових систем.

2.2 Способи та засоби нагрівання потоку рідини в трубі

2.2.1 Типи водонагрівачів

Перш за все, водонагрівачі (також відомі як водопідігрівачі) класифікуються за принципом нагріву. При поверхневому нагріві тепло передається воді через її безпосереднє зіткнення з нагрітими поверхнями

теплопередавальних елементів. Водночас при контактному нагріві тепло переноситься до води через гарячу пару або газ, які вступають у безпосередній контакт з водою, що дозволяє ефективно передавати тепло. Ці два принципи нагріву мають різні переваги в залежності від технологічних вимог і умов експлуатації [16].

Виходячи з цього, водонагрівачі поділяються на кілька типів, з яких найбільш поширеними є два: за типом палива (газові, електричні, непрямі або комбіновані) та за методом нагріву води (накопичувальні та проточні). Важливо зазначити, що водонагрівачі відкритого типу підключаються до безнапірного водопроводу і призначені для обслуговування лише однієї водорозбірної точки, наприклад, кухонної мийки, умивальника чи інших подібних приладів.

Принцип дії такого приладу полягає в тому, що при відкритті крана з гарячою водою холодна вода відразу потрапляє в бак, заміщаючи гарячу воду, яка через різницю в щільності витісняється до водорозбірного крана. Водонагрівачі закритого типу встановлюються в тій самій системі, що й лінія холодного водопостачання, і можуть обслуговувати кілька точок водорозбору, наприклад, ванну та душову кабінку. У резервуарі таких приладів підтримується постійний тиск, що відповідає тиску у водопровідній мережі. Як правило, ці водонагрівачі оснащені спеціальною запобіжною групою, яка контролює тиск і запобігає його перевищенню за допустимі норми.

Необхідно роз'яснити деякі терміни. Водонагрівачі непрямого нагріву, або бойлери, отримують теплоенергію від теплоносія з системи опалення. Наприклад, такі пристрої можуть бути підключені до опалювального котла. Комбіновані апарати, крім трубчастих електронагрівачів (тенів), обладнані додатково топками для твердого палива або змійовиками, що дозволяють підключати водонагрівач до опалювального котла. У проточних водонагрівачах процес нагрівання води відбувається безпосередньо під час її проходження через теплопередаючі елементи (тені, мідні труби або пластинчасті теплообмінники). В накопичувальних водонагрівачах вода нагрівається в великих резервуарах, після чого подається до користувача.

2.2.2 Електричні водонагрівачі проточного типу

Як уже зазначалося раніше, електричні водонагрівачі поділяються на проточні та накопичувальні. Ця класифікація є важливою для правильного вибору апарату, оскільки вона безпосередньо залежить від конкретних потреб і вимог користувача. Вибір між цими типами визначається тим, які саме функції та обсяги нагріву води необхідні для забезпечення комфортного використання в побуті чи на виробництві. [16].

У проточному електричному водонагрівачі холодна вода нагрівається, проходячи через колбу з Теном. Потужність таких пристроїв варіюється від 3 до 27 кВт. Більшість моделей оснащена автоматичною системою включення водозабору. Існують проточні водонагрівачі як для однофазної мережі (їх потужність, як правило, не перевищує 12 кВт), так і для трифазної мережі (з потужністю від 12 до 27 кВт).

Проточний водонагрівач має численні переваги порівняно з іншими типами водонагрівачів. Він дозволяє отримувати гарячу воду безпосередньо з водопроводу в реальному часі, без необхідності накопичення води в резервуарах. Для постійного використання протягом року рекомендується встановити трифазний водонагрівач потужністю від 12 до 27 кВт, оскільки він забезпечує більш ефективну і швидку підготовку гарячої води для великих обсягів споживання.

Існують водонагрівачі з гідравлічним управлінням, в яких процес нагрівання води здійснюється за допомогою як трубчастих електронагрівачів (тенів), так і неізолюваних спіральних нагрівальних елементів. Для моделей високого класу характерне наявність електронного управління, яке здійснюється за допомогою мікропроцесора. Таке управління забезпечує точний контроль температури, а також може включати додаткові функції, як-от програмування часу роботи, захист від перегріву та інші інтелектуальні функції для підвищення ефективності та безпеки експлуатації.

До недоліків електричного проточного водонагрівача можна віднести відсутність ємності для води, через що для нагріву великого об'єму води

необхідно значно більше електричної енергії. Крім того, через це неможливо одночасно постачати гарячу воду до кількох водорозбірних точок. Наприклад, для підключення душу потрібно обирати водонагрівач потужністю не менше 8 кВт. Для встановлення такого пристрою також потрібні додаткові компоненти, як автомат захисту та окремий кабель для підключення, що значно підвищує загальну вартість установки. Ще одним недоліком є відносно низька продуктивність, що залежить від температури вхідної води та потужності самого приладу. Окрім того, через погану якість води на нагрівальних елементах може швидко утворюватися вапняний наліт, що зменшує ефективність роботи водонагрівача та скорочує його термін служби.

Проточні водонагрівачі знаходять широке застосування в міських квартирах, а також в офісах, лікарнях, ресторанах і інших приміщеннях, де потрібен безперервний доступ до гарячої води.

Переваги:

- Миттєвий нагрів води без затримок, що дозволяє отримувати гарячу воду за перші секунди використання.
- Безмежна кількість гарячої води без необхідності в накопиченні, що ідеально підходить для великих споживаних обсягів.
- Компактні розміри приладу дозволяють зекономити простір, що є важливим фактором для невеликих приміщень.
- Відсутність необхідності в регулярному технічному обслуговуванні та зменшена ймовірність поломок завдяки відсутності резервуара для води.

Недоліки:

- Високі вимоги до підключення через велику потужність (від 3 до 27 кВт), що потребує спеціальної електричної проводки та окремого електричного підключення.
- Неможливість одночасного забезпечення гарячою водою декількох точок водозабору без додаткових пристроїв або підвищеної потужності.

2.2.3 Електричні накопичувальні водонагрівачі

Електричні накопичувальні водонагрівачі — це прості та надійні пристрої, які можуть бути як відкритого, так і закритого типу. Такий водонагрівач представляє собою бак (бойлер, казан) різного об'єму, в якому вода нагрівається. Бак виготовляється з нержавіючої сталі, часто з покриттям з термостійкої глазурі на основі скломатеріалу. У деяких моделях бак покривають тефлоном. Найбільш довговічними і найкращими з точки зору санітарно-гігієнічних вимог є баки з високолегованої нержавіючої сталі. В обладнанні зазвичай встановлений тен для нагріву води та захисний магнієвий анод, який запобігає корозії бака та утворенню накипу [16].

Водонагрівачі цього типу, зазвичай, оснащені теплоізоляцією для підтримки температури води на необхідному рівні, а також термостатом, який дозволяє встановлювати бажану температуру нагріву. Крім того, вони мають зовнішній корпус і запобіжний клапан для скидання надлишкового тиску. Водонагрівачі такого типу зазвичай випускаються в вертикальному або горизонтальному виконанні, що дає можливість вибору оптимального варіанту залежно від умов розташування та доступного простору.

Накопичувальний водонагрівач типу бойлер зазвичай підключається до опалювального котла, а деякі моделі поєднують бойлер та котел в одному корпусі. Холодна вода надходить у пристрій з водопроводу, де вона підігрівається до температури від 55°C до 85°C. Водонагрівач автоматично підтримує задану температуру протягом тривалого часу. Якість гарячої води залежить від чистоти внутрішніх поверхонь, яка забезпечується регулярним обслуговуванням та матеріалами, з яких виготовлені ці поверхні. Оскільки процес нагріву води відбувається поступово, електричний накопичувальний водонагрівач не потребує високої потужності, зазвичай у межах 1.2–3.0 кВт.

Особливість водонагрівачів цього типу полягає в їх здатності забезпечувати гарячою водою кілька водорозбірних точок одночасно. Це дозволяє ефективно використовувати їх у великих приміщеннях або для потреб декількох споживачів. Однак, серед недоліків таких водонагрівачів варто відзначити необхідність

періодичного технічного обслуговування, яке включає промивання внутрішньої поверхні бака, заміну магнієвого анода та очищення тенів від накипу. Крім того, обсяг гарячої води, що доступний на даний момент, обмежений, а час, необхідний для нагріву наступної порції води, може бути досить відчутним. Проте такі ситуації, як правило, виникають рідко, і зазвичай це не створює значних незручностей.

Водонагрівачі забезпечують можливість накопичення великої кількості гарячої води, що робить їх зручними для тривалого використання. Однак, на відміну від проточних моделей, вони займають більше місця і вимагають більше часу для нагрівання води до бажаної температури.

Важливою особливістю електричних накопичувальних водонагрівачів є те, що при температурі 35–40°C у стоячій воді починають розмножуватися бактерії. Для запобігання цьому необхідно підвищувати температуру води в резервуарі до 60°C хоча б раз на добу. У бойлерах і нагрівачах високого класу з програмним управлінням цей процес відбувається автоматично. Крім того, для запобігання застою води в баці та трубах, контур гарячої води може бути замкнутим, а циркуляційний насос постійно прокачує воду через всі водорозбірні точки, повертаючи її в бак. Така циркуляція не лише бореться з бактеріями, але й забезпечує практично миттєву подачу гарячої води при відкритті крана.

Переваги: низьке споживання енергії, простота монтажу та підключення, можливість обслуговування кількох водорозбірних точок одночасно, наявність великого запасу гарячої води.

Недоліки: довший час нагрівання води порівняно з проточними водонагрівачами, великі габарити.

2.2.4 Газові проточні водонагрівачі

Газові проточні водонагрівачі, або газові колонки, виконують ті ж функції, що й електричні моделі, і використовуються для забезпечення постійної подачі гарячої води без великих коливань у споживанні. Основною перевагою газових водонагрівачів є їхня економічність. За споживчими характеристиками газові проточні водонагрівачі майже не поступаються електричним аналогам.

Основними компонентами проточного газового водонагрівача є пальник, який нагріває воду, що проходить через теплообмінник, а також система автоматики для забезпечення безпеки під час роботи. Спеціальний запобіжний клапан із термопарою автоматично припиняє подачу газу, якщо полум'я пальника згасне. Сьогодні вже немає необхідності в ручному запалюванні газу, оскільки сучасні водонагрівачі оснащені автоматичними системами запалювання, що значно підвищує зручність та безпеку використання.

Сучасний проточний газовий водонагрівач запускається за допомогою натискання кнопки (для моделей з п'єзозапалюванням) або автоматично при відкритті крана гарячої води (для моделей з електронним запалюванням). Він є економічнішим, оскільки не має постійно палаючого запальника. Система запалювання автоматизована, що виключає необхідність в налаштуваннях, і забезпечує повне згоряння газу під час запуску. У таких апаратах можна плавно регулювати температуру нагрітої води, а автоматика забезпечує стабільність температури, незалежно від коливань тиску води.

Особливо варто відзначити моделі водонагрівачів, оснащені модуляційним пальником. Цей тип пальника забезпечує стабільну температуру води на виході з колонки, незалежно від змін температури вхідної води, що дозволяє підтримувати комфортні умови використання навіть при коливаннях температури подачі води [16]. Основним параметром сучасної газової колонки є її потужність, яка визначає обсяг гарячої води, що може бути отриманий на виході. Газові колонки зазвичай поділяються на три категорії: з низькою (17-19 кВт), середньою (22-24 кВт) та високою (28-30 кВт) потужністю. При виборі водонагрівача важливо звертати увагу на те, яка саме потужність вказана в технічних характеристиках — корисна або споживана. Ці показники взаємопов'язані через коефіцієнт корисної дії пристрою. Найбільше значення має корисна потужність, яка безпосередньо витрачається на нагрів води.

Переваги: без обмежень у кількості гарячої води, компактні розміри, незалежність від електричної мережі, висока енергоефективність.

Недоліки: потрібне підключення до централізованої газової мережі для забезпечення роботи водонагрівача.

2.2.5 Газові накопичувальні водонагрівачі

Ємнісні газові водонагрівачі поділяються на два типи: з примусовою тягою (закрита камера згорання) та з природною тягою (відкрита камера згорання). Водонагрівачі з примусовою тягою не потребують додаткового припливу повітря для підтримки горіння в приміщенні та не вимагають громіздкого димаря. Замість традиційного димаря використовується короткий коаксіальний, який можна вивести через стіну назовні. Однак варто зазначити, що водонагрівачі з примусовою тягою коштують приблизно на півтора рази дорожче, ніж моделі з природною тягою.

Газові накопичувальні водонагрівачі доступні в настінному та настільному виконаннях. Основними компонентами цих пристроїв є бак, що має захисне покриття для запобігання корозії та магнієвий анод для її попередження; теплоізоляція для збереження температури води; витяжний ковпак, який запобігає зворотному потоку відпрацьованих газів; атмосферний газовий пальник; блок управління та система безпеки, яка перекриває подачу газу в разі будь-яких несправностей; і зовнішній корпус з металу, покритий захисним шаром фарби. Продуктивність водонагрівача, тобто кількість гарячої води, яку він може виробити за одиницю часу, безпосередньо залежить від теплової потужності пристрою: чим вища потужність теплообмінника, тим більший обсяг гарячої води здатен забезпечити водонагрівач.

Переваги:

- Газовий водонагрівач має характеристики, схожі з електричними моделями;
- Підвищений комфорт завдяки великому запасу гарячої води.

Використання газового накопичувального водонагрівача часто є більш вигідним, оскільки його вартість швидко окупається в процесі експлуатації, адже газ значно дешевший за електричну енергію. Завдяки високій продуктивності він може з успіхом конкурувати з газовими колонками в певних умовах;

- Високий рівень безпеки під час експлуатації;
- Високоякісна теплоізоляція, що забезпечує ефективність роботи;
- Покращена антикорозійна стійкість;

- Додатковий захист від корозії, зокрема магнієвий анод, який запобігає утворенню накипу і корозії внутрішніх поверхонь;
- Можливість установки як у вертикальному, так і в горизонтальному положенні.

Недоліки:

- Потреба у наявності централізованої подачі газу до місця установки водонагрівача, що може бути проблемою в деяких регіонах;
- Великі габарити, що обмежують можливість розміщення водонагрівача в обмежених просторах, а також значні витрати газу на підтримку необхідної температури води, що впливає на експлуатаційні витрати.

2.3 Основні типи запірних клапанів

2.3.1 Клапан типу РТ-ТС

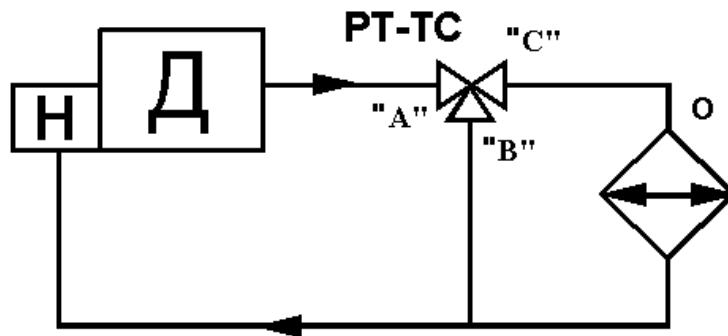
Цей клапан призначений для автоматичного контролю температури в системах нагріву та охолодження, які використовуються в побутових, комунальних та промислових установках (рис. 2.3)[17]. Зазвичай він застосовується в відкритих системах гарячого водопостачання та опалення, а також у системах охолодження газомотокомпресорів і теплообмінників.

Терморегулятори є пристроями прямої дії, що не потребують зовнішнього джерела енергії для своєї роботи. Їх принцип дії ґрунтується на переміщенні клапана, яке відбувається в залежності від зміни об'єму наповнювача термочутливого елементу (датчика температури ТД-м), що пропорційно реагує на коливання температури теплоносія.

Коли температура регульованого середовища підвищується, термочутливий елемент переміщує клапан, що призводить до збільшення витрати в каналі "С" і зменшення витрати в каналі "В". Це співвідношення витрат продовжує змінюватися до тих пір, поки температура в системі не досягне заданого рівня.

При зниженні температури відновлення заданого температурного режиму здійснюється завдяки дії пружини повернення, яка переміщає клапан у таке положення, при якому витрата в каналі "С" зменшується, а в каналі "В" —

збільшується. За спеціальним замовленням прилад може комплектуватися фільтром відповідного діаметру умовного проходу, а також приварними сталевими фланцями. Корпусні деталі можуть бути виготовлені з сталі марок 25 або 12X18H10T.



Д – Двигун Н - Насос Т - Терморегулятор РТ-ТС О – Охолоджувач

Рисунок 2.3 – Схема піключення

2.3.2 Клапан типу РТ-ДО

Регулятор температури прямої дії типу РТ-ДО(ДЗ) (рис. 2.4) призначений для автоматичного підтримання температури регульованого середовища шляхом регулювання витрати пари, рідких або газоподібних середовищ, що не чинять агресивного впливу на матеріали регулятора (корпус СЧ-15, сідло 40X13, клапан 20X13, шток і термобалон термосистеми 12X18H10T). Регулятор РТ-ДО оснащений двоходовим нормально відкритим регулюючим органом, а модель РТ-ДЗ — двоходовим нормально закритим регулюючим органом [17].

За спеціальним замовленням прилад може бути оснащений фільтром з необхідним діаметром умовного проходу, приварними сталевими фланцями, а також можливе виготовлення корпусних елементів з сталі марок 25 або 12X18H10T для підвищення їх міцності та стійкості до агресивних середовищ.

Сфера застосування регуляторів температури включає:

- системи центрального опалювання, де необхідно підтримувати стабільну температуру теплоносія;
- охолоджувачі двигунів, конденсаторів та очисні станції для забезпечення ефективного охолодження і підтримки необхідних температурних режимів;

- парогенератори, печі, теплообмінники, бойлери та цистерни, де важливо регулювати температуру для оптимальної роботи обладнання;
- знежирюючі установки та гальванічні сушильні шафи, де контроль температури є критичним для якості обробки матеріалів;
- сушильні приміщення та теплиці, де важливо підтримувати потрібний температурний режим для забезпечення належного процесу сушіння чи вирощування рослин;
- трубопроводні магістралі, де потрібен постійний контроль і підтримка температури для безперебійної роботи системи.

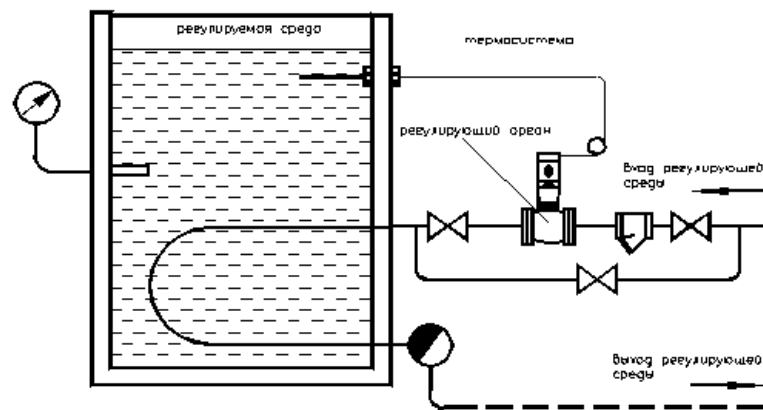


Рисунок 2.4 - Схема вмикання регулятора РТ-ДО в системі автоматичного підтримання температури води

2.3.3 Клапан типу РТС-ДО

Ці клапани використовуються для автоматичного регулювання температури в системах нагріву та охолодження в побутових, комунальних і промислових установках. Зазвичай вони застосовуються в відкритих системах гарячого водопостачання та опалювання, а також у охолоджувальних системах газомотокомпресорів і теплообмінників.

Терморегулятори є пристроями прямої дії, які не потребують зовнішнього джерела енергії для своєї роботи. Їх принцип функціонування ґрунтується на переміщенні клапана, яке відбувається у відповідь на зміну об'єму наповнювача термочутливого елемента (датчика температури ТД-м), пропорційно змінам

температури теплоносія. Таким чином, терморегулятор автоматично коригує потік теплоносія, підтримуючи задану температуру в системі.

Автоматичне підтримання заданої температури здійснюється за допомогою перепускання. Співвідношення витрат регульованого середовища в каналах "В" і "С" визначається температурою. При підвищенні температури клапан переміщається термочутливим елементом, що спричиняє збільшення витрат у каналі "С" і зменшення витрат у каналі "В". Це співвідношення змінюється доти, поки температура не досягне заданого значення. При зниженні температури відновлення встановленого температурного режиму здійснюється за допомогою пружини повернення, яка переміщає клапан у таке положення, де витрата в каналі "С" зменшується, а в каналі "В" збільшується, відновлюючи потрібну температуру.

В розроблюваній системі пропонується використати запірний клапан із виконавчим механізмом типу МЕК-10.

Виконавчий механізм типу МЕК-10 — це електричний пристрій, який призначений для автоматичного регулювання роботи різних установок та систем, таких як системи опалення, вентиляції, кондиціонування та інші автоматизовані процеси. Зазвичай такий механізм використовується для виконання команд від системи управління або для регулювання положення клапанів, заслінок та інших елементів на об'єктах інженерних комунікацій.

Основні характеристики виконавчого механізму МЕК-10:

1. Призначення: Механізм використовується для виконання регулюючих функцій в автоматичних системах, таких як зміна положення клапанів або заслінок у відповідь на сигнали від автоматичної системи управління.

2. Електричний привід: Виконавчий механізм МЕК-10 працює на основі електричного приводу, що дозволяє регулювати рух об'єктів із допомогою електричного сигналу.

3. Регулювання: Використовується для контролю потоку, температури, тиску та інших параметрів у процесах, де потрібно автоматично змінювати налаштування.

4. Типи: МЕК-10 може мати різні модифікації залежно від виду управління та специфікацій для конкретних завдань.

5. Робочі умови: Виконавчий механізм працює в діапазоні температур, вологості і може бути оснащений різними засобами захисту від несприятливих умов експлуатації.

6. Застосування: Зазвичай такі механізми використовуються в системах автоматизації та управління для точного регулювання механізмів, таких як заслінки, клапани та інші компоненти.

Ці механізми застосовуються в різних галузях: від промислових установок до побутових систем, де потрібен точний контроль за параметрами середовища. Для конкретної моделі МЕК-10 деталі, такі як технічні характеристики та можливості застосування, можуть відрізнятися в залежності від виробника та сфери використання.

3 ОПИС ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ОБРАНИХ РІШЕНЬ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ВОДИ В ПРОЦЕСІ ЗОЛІННЯ ШКІРИ

3.1 Розробка структури системи регулювання температури технологічної води

Система регулювання температури води, що подається в барабан зольної галереї, є важливим елементом автоматизації процесу зоління шкіри. Її основне завдання — підтримка та підтримка заданої температури води, що надходить у барабан, для забезпечення стабільності технологічного процесу. Важливою частиною цієї системи є чутливий елемент, який точно і швидко реагує на зміни температури води, дозволяючи оперативно коригувати температурний режим у залежності від потреб процесу. Крім того, система може бути оснащена додатковими елементами, такими як регулятори потоку води і системи автоматичного контролю, щоб забезпечити високий рівень точності і стабільності нагріву води в режимі реального часу.

Відомо, що витрата води складає $1 \text{ м}^3/\text{хв}$, а час, необхідний для заповнення барабана водою, становить 10 хвилин. Враховуючи ці параметри, для ефективного контролю температури води необхідно встановити чутливий елемент (датчик температури) на трубопроводі на певній відстані від барабана. Хоча можна було б розмістити датчик безпосередньо на вході в барабан, це призвело б до ускладнення конструкції системи, оскільки довелося б враховувати додаткові фактори, такі як механічні перешкоди чи складність підключення. Установлення датчика на певній відстані від барабана дозволяє зберегти простоту конструкції і одночасно забезпечити точний контроль температури води перед її подачею в барабан.

У цьому випадку є можливість конструктивно розмістити датчик температури на певній відстані від барабана. Такий підхід дозволяє своєчасно регулювати температуру води, що подається в барабан, і підтримувати оптимальний температурний режим для ефективного процесу зоління шкіри. Це забезпечить точніше та більш стабільне контролювання температури, що важливо для

підтримання належної якості шкіри та забезпечення безперервності технологічного процесу.

Мікроконтролер має виконувати не лише завдання зчитування сигналу датчика температури, але й контролювати момент часу, коли припиняється подача води. Окрім цього, необхідно реалізувати функцію запуску таймера, який буде відлічувати час протягом 10 хвилин. Після завершення цього періоду мікроконтролер повинен активувати звуковий сигнал, що сповіщає оператора про закінчення встановленого часу. Це дозволить забезпечити точний контроль за процесом заповнення барабана та попередить про необхідність виконання подальших дій.

Оператор повинен виконати заходи, зазначені в технологічній інструкції, для забезпечення належної роботи барабана. Згідно з вимогами цієї інструкції, такі заходи повинні бути вжиті перед початком процесу обертання барабана. У даному випадку контролер налаштовано на час відліку в 12 хвилин, оскільки згідно з технологічною інструкцією оператору необхідно мати дві хвилини для вжиття відповідних заходів для попередження можливих проблем перед запуском процесу.

3.2 Розробка та опис схеми функціональної системи регулювання температури технологічної води

Згідно з викладеним матеріалом, можна розробити функціональну схему для системи. Схема, зображена на слайді 04.01, включає наступні елементи: датчик температури для регулювання, погоджувальний блок (масштабуючий підсилювач), який приводить сигнал від датчика до рівня, достатнього для обробки мікроконтролером; сам мікроконтролер, що, зчитуючи вхідні дані, генерує керуючий сигнал для приводу клапана подачі води; силові ланцюги, що підсилюють керуючі сигнали з виходу мікроконтролера і передають їх на пускач приводу клапана; привід клапана, що виконує необхідні дії на основі керуючих сигналів; і, нарешті, регульований об'єкт – магістраль подачі води, яка використовуватиметься у технологічному процесі. Узагальнений алгоритм роботи цієї системи регулювання температури води представлений на слайді 04.02.

3.3 Розробка принципової схеми реалізації системи регулювання температури води, що подається в барабан

Впровадження мікропроцесорних технологій спричинило їх активне використання в різних галузях народного господарства. Завдяки високій надійності, функціональній універсальності, компактним розмірам та доступній вартості мікропроцесорні пристрої стали незамінними елементами в системах автоматичного управління. Ці переваги забезпечують ефективність їх застосування у складних технічних процесах та сприяють оптимізації функціонування різноманітних технологічних систем.

Сучасна елементна база цифрових технологій надає можливості для розробки цифрових регуляторів, побудованих на основі мікропроцесорів, що реалізують операції в реальному часі. Зокрема, однокристальні мікроконтролери, які є інтегрованими мікросхемами (BIC), містять усі основні компоненти мікроЕОМ: пам'ять для програм, центральний процесор, пам'ять для даних, а також програмовані інтерфейси для взаємодії з зовнішнім середовищем. Використання таких мікроконтролерів у системах автоматичного управління дозволяє досягти високої ефективності при мінімальних витратах, компактних розмірах, невеликій вазі, високій обчислювальній потужності та низькому енергоспоживанні [1-5].

Структурна організація та апаратурно-програмні засоби вводу/виводу інформації, а також набір команд мікроконтролерів оптимально підходять для вирішення завдань автоматичного керування в різноманітних приладах, пристроях та системах автоматики. При проектуванні мікропроцесорних систем на практиці важливо враховувати кілька ключових факторів. Це включає раціональний розподіл функцій між системами автоматичного керування (САК), забезпечення заданих показників якості управління, а також ефективну інтеграцію програмних та апаратних засобів. Особливу увагу потрібно приділяти взаємодії цифрової та аналогової частин системи, що дозволяє забезпечити надійність та ефективність роботи всього комплексу.

Показники якості керування, такі як точність, динаміка, надійність виконання функцій керування та інші, значною мірою залежать від особливостей реалізації цифрового алгоритму управління в мікроконтролері. У разі цифрового представлення інформації відбувається квантування за рівнем та дискретизація процесів у часі. Дискретизація процесів, що проводиться згідно з певними критеріями якості роботи системи, висуває вимоги до швидкодії мікроконтролера. Зокрема, для забезпечення високої якості керування важливо, щоб мікроконтролер мав достатню обчислювальну потужність для обробки даних із необхідною швидкістю. Однак квантування сигналів за рівнем викликає ефект шумів квантування, що може вплинути на точність керування і стати джерелом похибок у роботі системи.

Розв'язання задачі розподілу функцій між програмною та апаратною частинами системи вимагає комплексного аналізу низки важливих факторів. До них відносяться: необхідність забезпечення достатньої потужності мікроконтролера для виконання обчислень, вибір способу представлення вхідної та вихідної інформації, а також структура самої системи та особливості цифрових алгоритмів обробки даних. Усі ці фактори взаємопов'язані і визначають ефективність роботи системи управління, зокрема її швидкодію, точність і стабільність у реальному часі.

Для аналогової частини системи з мікроконтролером використовуються цифроаналогові (ЦАП) та аналого-цифрові перетворювачі (АЦП), які повинні відповідати високим вимогам щодо точності, швидкодії та лінійності перетворення сигналів. Це створює потребу у правильному програмному та схемотехнічному взаємодії між АЦП та мікроконтролером, особливо якщо розрядність АЦП відрізняється від розрядності, яку підтримує сам мікроконтролер. Останнім часом набули популярності мікроконтролери з вбудованими високорозрядними АЦП, що дозволяє уникнути необхідності використання додаткових мікросхем. Це значно спрощує процес проектування електричних схем і дозволяє знизити вартість та складність систем.

Для побудови мікропроцесорної системи автоматичного керування (САК), з урахуванням викладених вимог, оптимальним вибором є мікроконтролер однокристальний типу AT90S4433. Хоча цифрові регулятори з програмною реалізацією зазвичай поступаються апаратним аналогам за швидкістю, вони мають значні переваги в плані універсальності та гнучкості. Такі регулятори забезпечують кращі масогабаритні характеристики, є легшими для переналаштування під різні умови роботи та адаптації до змінних параметрів процесу. Вони також дозволяють досягти високої точності управління та знижують складність конструкції.

Надійність мікропроцесорних систем автоматичного керування (САК) значно вища порівняно з системами, побудованими на іншій елементній базі. У схемі регулювання температури води можна виділити дві основні частини: силову (енергетичну) та слабкоструміву (керуючу). Реалізація слабкострумової частини на одному мікропроцесорі дозволяє значно підвищити універсальність і надійність САК, оскільки дає змогу легко реалізувати різні закони регулювання за допомогою програмного забезпечення. Крім того, інформація про процес, що передається у вигляді цифрового сигналу, менш чутлива до перешкод і викривлень, оскільки не залежить від енергії сигналу. Це забезпечує стабільність і точність роботи системи навіть в умовах впливу зовнішніх факторів.

Слабкострумова частина мікропроцесорної системи повинна виконувати завдання реалізації цифрового програмного регулятора та формування кодових послідовностей для управління силовою частиною системи, зокрема для керування задвижкою подачі води. Це включає обробку вхідних даних, виконання алгоритмів регулювання та передачу керуючих сигналів до силових елементів, що відповідають за відкриття або закриття задвижки, забезпечуючи тим самим точне та своєчасне регулювання подачі води в систему.

Принципова схема системи, представлена на слайді 07.00, включає мікроконтролер AT90S4433, який реалізує алгоритм керування на основі даних, отриманих від датчика температури води. В систему також входить масштабуючий вхідний пристрій, який приводить вхідні сигнали до стандартного

рівня, сприйнятного мікроконтролером. Крім того, схема включає рідкокристалічний індикатор для відображення поточних параметрів, а також силову частину, що забезпечує виконання керуючих команд, таких як активація задвижки для подачі води.

Мікросхема AT90S4433 являє собою мікроконтролер, оснащений внутрішнім генератором G1 з тактовою частотою, яка визначається кварцовим резонатором на 12 МГц. Вхідний масштабуючий підсилювач, що перетворює сигнали датчика до рівня, який сприймається системою, реалізований на мікросхемі K140УД17 (елемент DA3). Це операційний підсилювач, що використовується для підсилення сигналів без викривлень, здатний подавляти синфазний сигнал. Він має низьку напругу зміщення нуля, мінімальний дрейф нуля, великий вхідний опір і низький рівень шуму. Зміна масштабу сигналу забезпечується регулюванням коефіцієнта підсилення операційного підсилювача [6-8]. Керуючі сигнали з портів PB0 і PB1 передаються через силову розв'язку, яка виконана на транзисторах VT1, VT2, VT3 та VT5, і надходять на входи безконтактного реверсивного пускача ПБР-1. Цей пускач керує виконавчим механізмом МЕК-10, який змінює положення заслінки клапана для подачі води.

Висновок

Впровадження мікропроцесорних технологій сприяло значному прогресу в розвитку автоматичних систем керування, що знайшло широке застосування в різних галузях народного господарства. Завдяки високій надійності, універсальності, компактності та доступній вартості мікропроцесорні системи стали невід'ємною частиною складних технологічних процесів, забезпечуючи їх оптимізацію та покращення функціонування.

Використання однокристальних мікроконтролерів на основі сучасної елементної бази дозволяє реалізувати цифрові регулятори, здатні виконувати операції в реальному часі з високою ефективністю. Вони характеризуються високою обчислювальною потужністю при низькому енергоспоживанні та компактних розмірах, що дозволяє значно зменшити вартість і складність проектування систем автоматичного керування. Завдяки інтеграції всіх

необхідних компонентів мікроЕОМ, таких як пам'ять програм, центральний процесор, інтерфейси вводу/виводу, мікроконтролери оптимально підходять для вирішення завдань автоматизації в реальному часі.

Надійність мікропроцесорних САК значно перевищує показники систем, побудованих на іншій елементній базі, завдяки простоті реалізації та здатності до адаптації через програмне забезпечення. Використання цифрової інформації в системах керування забезпечує стійкість до перешкод, підвищує точність і стабільність роботи навіть у складних зовнішніх умовах. Завдяки цьому, такі системи можуть реалізовувати різноманітні алгоритми керування, зокрема для регулювання температури або інших технологічних параметрів.

Аналіз розподілу функцій між програмною та апаратною частинами дозволяє забезпечити оптимальну ефективність системи, враховуючи вимоги до швидкодії, точності та стабільності. У цьому контексті мікроконтролери, як-от AT90S4433, є ідеальним вибором для побудови мікропроцесорних систем автоматичного керування, оскільки вони поєднують високі характеристики обчислювальної потужності з низьким енергоспоживанням і компактністю.

Таким чином, використання мікропроцесорних технологій у автоматичних системах керування забезпечує високу ефективність, гнучкість і надійність, що робить їх незамінними в сучасних технологічних процесах. Вони дозволяють значно зменшити складність конструкцій, покращити точність і забезпечити стабільність роботи систем навіть у змінних умовах експлуатації.

4 РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ВИРОБУ

4.1 Рівняння елементів системи

Визначено рівняння елементів системи з літературних джерел :
об'єкта:

$$T_0\left(\frac{d\Theta}{dt}\right) + \Theta = k_0\mu - k_1f ; \quad (4.1)$$

вимірювальної схеми:

$$\varepsilon = k_3\rho ; \quad (4.2)$$

виконавчого двигуна з регулюючим органом:

$$T_1\left(\frac{d^2\mu}{dt^2}\right) + \frac{d\mu}{dt} = k_5U ; \quad (4.3)$$

чутливого елемента:

$$\rho = k_2\Theta ; \quad (4.4)$$

підсилювача:

$$U = k_4\varepsilon_1 ; \quad (4.5)$$

сигнал неузгодження:

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_0 - \varepsilon . \quad (4.6)$$

Параметри:

Θ – поточне значення температури води;

μ – переміщення регулюючого елемента;

ε_0 – вхідний параметр;

f – еквівалентне збурююче діяння;

ε_1, U – відповідно вхідний і вихідний сигнали підсилювача;

ρ – сигнал чутливого елемента;

ε – вихідний сигнал вимірювальної схеми.

Для розрахунків прийнято наступні значення постійних часу та коефіцієнтів підсилення елементів системи:

$T_0 = 1000 \text{ с};$	$T_1 = 0,060 \text{ с};$	$f = 1,1 \text{ см};$
$k_0 = 20 \text{ град/см};$	$k_1 = 2,0 \text{ град/см};$	$k_2 = 20 \text{ Ом/град};$
$k_3 = 0,001 \text{ В/Ом};$	$k_4 = 100;$	$k_5 = 0,30 \text{ см/В}.$

Вимоги до синтезованої САР (слайд 05.01):

- в процесі синтезу САР розробити систему, оптимальну за швидкодією;
- запас стійкості за модулем не менше 15 дБ, за фазою не менше 30°.
- максимальне перерегулювання не повинно перевищувати 25 %.
- час регулювання приймається зменшеним на 30 % від отриманого для заданих параметрів системи;

4.2 Будова та принцип дії САР

Завдання системи автоматичного регулювання (САР) полягає в підтриманні температури води на визначеному рівні (постійній або близько сталому) шляхом коригування положення клапана. Контроль температури здійснюється за допомогою термодатчика, який постійно вимірює температуру води та передає ці дані до системи для подальшої обробки та регулювання.

4.3 Функціональна схема САР

На основі принципової схеми системи була розроблена функціональна схема системи автоматичного регулювання (САР), яка представлена на рисунку 4.1. Ця схема ілюструє взаємодію всіх основних компонентів системи та процеси, що відбуваються в межах її роботи, забезпечуючи ефективне управління температурою води через зміну положення клапана.

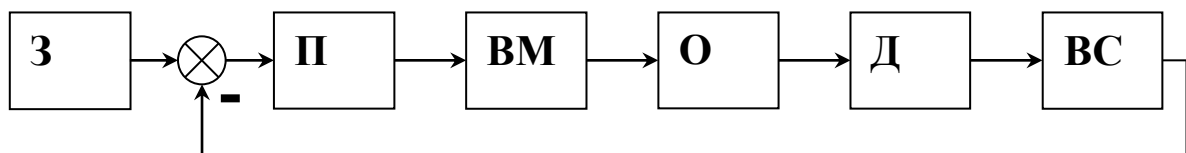


Рисунок 4.1 – Функціональна схема САР температури води:
З – задаючий пристрій; П – підсилювач; ВМ – виконавчий механізм;
О – об'єкт регулювання; Д – датчик; ВС – вимірювальна схема

4.4 Структурна схема системи

Для побудови структурної схеми системи були застосовані диференціальні рівняння, що описують поведінку окремих елементів схеми. Для отримання функцій передаточних елементів системи було виконано перетворення цих рівнянь за допомогою прямого перетворення Лапласа, що дозволило отримати математичні моделі, які відображають динамічні властивості кожного з компонентів системи та їх взаємодію.

Для отримання функції передаточної об'єкта прирівнюємо до нуля збурююче діяння f , оскільки задача – отримати функцію передаточну за керуючим діянням, маємо:

$$T_0 \left(\frac{d\Theta}{dt} \right) + \Theta = k_0 \mu - k_1 f \quad T_0 \cdot \bar{\Theta} \cdot p + \bar{\Theta} = k_0 \bar{\mu}, \text{ де } p - \text{оператор Лапласа.}$$
$$W_O(p) = \frac{\bar{X}_{\text{вих}}}{\bar{X}_{\text{вх}}} = \frac{\bar{\Theta}}{\bar{\mu}} = \frac{k_0}{T_0 p + 1}. \quad (4.7)$$

Маємо аперіодичну динамічну ланку першого порядку.

Таким же чином отримуємо функції передаточні інших елементів системи: чутливого елемента:

$$W_o(p) = \frac{\bar{\rho}}{\bar{\Theta}} = k_2; \quad (4.8)$$

підсилювача:

$$W_n(p) = \frac{\bar{U}}{\bar{\varepsilon}_1} = k_4; \quad (4.9)$$

вимірювальної схеми:

$$W_{sc}(p) = \frac{\bar{\varepsilon}}{\bar{\rho}} = k_3; \quad (4.10)$$

виконавчого двигуна з регулюючим органом:

$$W_{sm}(p) = \frac{\bar{\mu}}{\bar{U}} = \frac{k_5}{T_1 p^2 + p} = \frac{k_5}{p(T_1 p + 1)}. \quad (4.11)$$

Відповідно до вигляду функціональної схеми системи складемо її структурну схему (рис. 4.2, слайд 05.02).

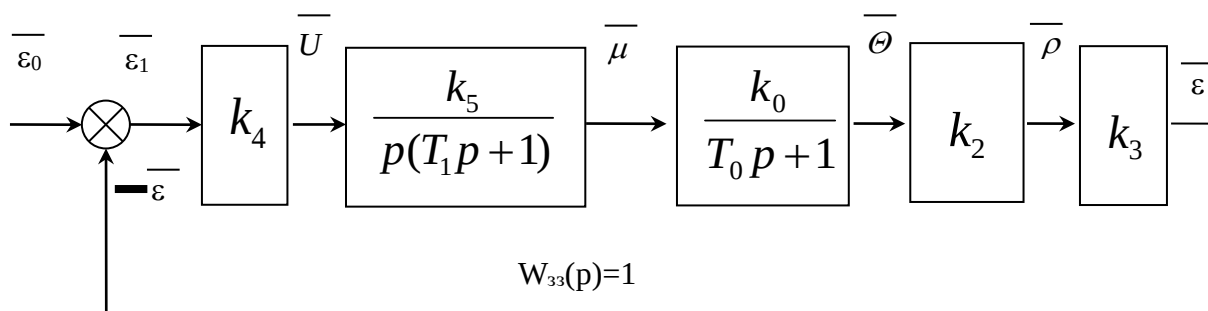


Рисунок 4.2 – Структурна схема САР температури води

4.5 Визначення передаточних функцій системи та характеристичного рівняння

Елементи структурної схеми системи з'єднані послідовно, тому для отримання передаточної функції розімкненої системи необхідно перемножити передаточні функції окремих елементів. Це дозволяє отримати загальну математичну модель системи, що відображає її динамічні властивості та взаємодію між компонентами:

$$W_p(p) = W_n(p) \cdot W_{e.m}(p) \cdot W_o(p) \cdot W_\theta(p) \cdot W_{e.c}(p) = \frac{k_0 k_2 k_3 k_4 k_5}{p(T_1 p + 1)(T_0 p + 1)}$$

Введено позначення:

$$k = k_0 k_2 k_3 k_4 k_5$$

Передаточна функція розімкнутої системи має вигляд:

$$W_p(p) = \frac{k}{p(T_1 p + 1)(T_0 p + 1)}. \quad (4.12)$$

За умови одиничного зворотного зв'язку передаточна функція замкнутої системи:

$$W_s(p) = \frac{W_p(p)}{1 + W_p(p)} = \frac{k}{p(T_1 p + 1)(T_0 p + 1) + k}. \quad (4.13)$$

Характеристичне рівняння має такий вигляд:

$$T_1 T_0 p^3 + (T_1 + T_0) p^2 + p + k = 0. \quad (4.14)$$

Підставивши відповідні значення коефіцієнтів підсилення та сталих часу:

$$60 p^3 + 1000,06 p^2 + p + 12 = 0$$

4.6 Побудова АФЧХ, ЛАЧХ та ЛФЧХ розімкнутої системи

4.6.1 Побудова АФЧ характеристики розімкнутої системи

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

$$W_p(\omega) = \frac{k}{T_1 T_0 (j\omega)^3 + (T_1 + T_0)(j\omega)^2 + j\omega}$$

Провівши перетворення та підставивши значення сталих часу і коефіцієнтів, отримаємо:

$$W_p(\omega) = \frac{k}{-jT_1 T_0 \omega^3 - (T_1 + T_0)\omega^2 + j\omega} = \frac{k(-(T_1 + T_0)\omega^2 - j(\omega - T_1 T_0 \omega^3))}{(-(T_1 + T_0)\omega^2)^2 + (\omega - T_1 T_0 \omega^3)^2};$$

$$P(\omega) = \frac{k(-(T_1 + T_0)\omega^2)}{(-(T_1 + T_0)\omega^2)^2 + (\omega - T_1 T_0 \omega^3)^2} = \frac{12(-1000,06\omega^2)}{(-1000,06\omega^2)^2 + (\omega - 60\omega^3)^2};$$

$$Q(\omega) = \frac{k(-(\omega - T_1 T_0 \omega^3))}{(-(T_1 + T_0)\omega^2)^2 + (\omega - T_1 T_0 \omega^3)^2} = \frac{12(-(\omega - 60\omega^3))}{(-1000,06\omega^2)^2 + (\omega - 60\omega^3)^2}$$

Далі, підставляючи значення ω від 0 до ∞ , побудуємо графік АФЧ характеристики (рис. 4.3):

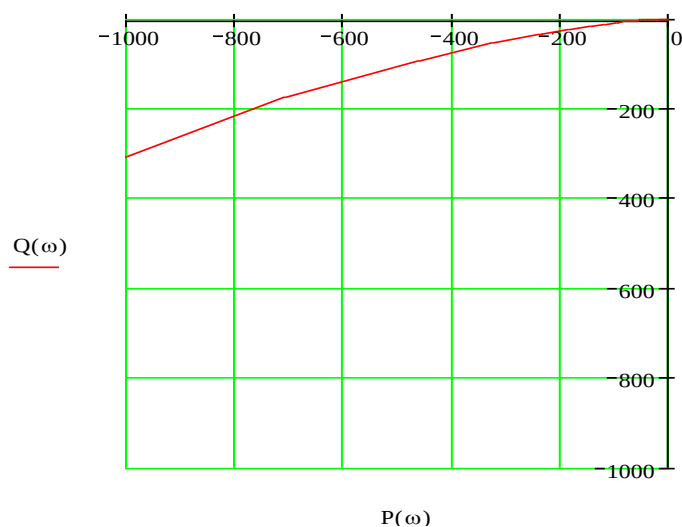


Рисунок 4.3 – АФЧХ розімкнутої системи

4.6.2 Побудова ЛАЧ характеристики розімкнутої системи

Для побудови ЛАЧ характеристики за допомогою асимптотичного методу потрібно знайти спрягаючі частоти за сталими часу ланок:

$$\omega_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{1000} = 0,001 \text{ с}^{-1}, \text{ належить аперіодичній ланці першого порядку};$$

$$\omega_1 = \frac{1}{T_1} = \frac{1}{0,06} = 16,7 \text{ с}^{-1}, \text{ належить аперіодичній ланці першого порядку}.$$

Знайдені спрягаючі частоти слід відмітити на осі частот в логарифмічному масштабі (рис. 4.4). Низькочастотна асимптота ЛАЧ характеристики при $\omega < \omega_0$ являє собою пряму з нахилом -20 дБ/дек, оскільки система містить інтегруючу динамічну ланку. Ця пряма при $\omega=1$ повинна мати ординату, яка дорівнює $20 \lg k = 21,58$ дБ ($k = 12$ – коефіцієнт підсилення розімкнутої системи). Після спрягаючих частот ω_0 , ω_1 нахил частотної характеристики $L(\omega)$ змінюється порівняно з попереднім його значенням на -20 дБ/дек, так як обидві частоти спряження належать аперіодичним динамічним ланкам першого порядку. Високочастотна асимптота ЛАЧ характеристики, тобто її частина при частотах, які є більшими за ω_1 , має нахил -60 дБ/дек.

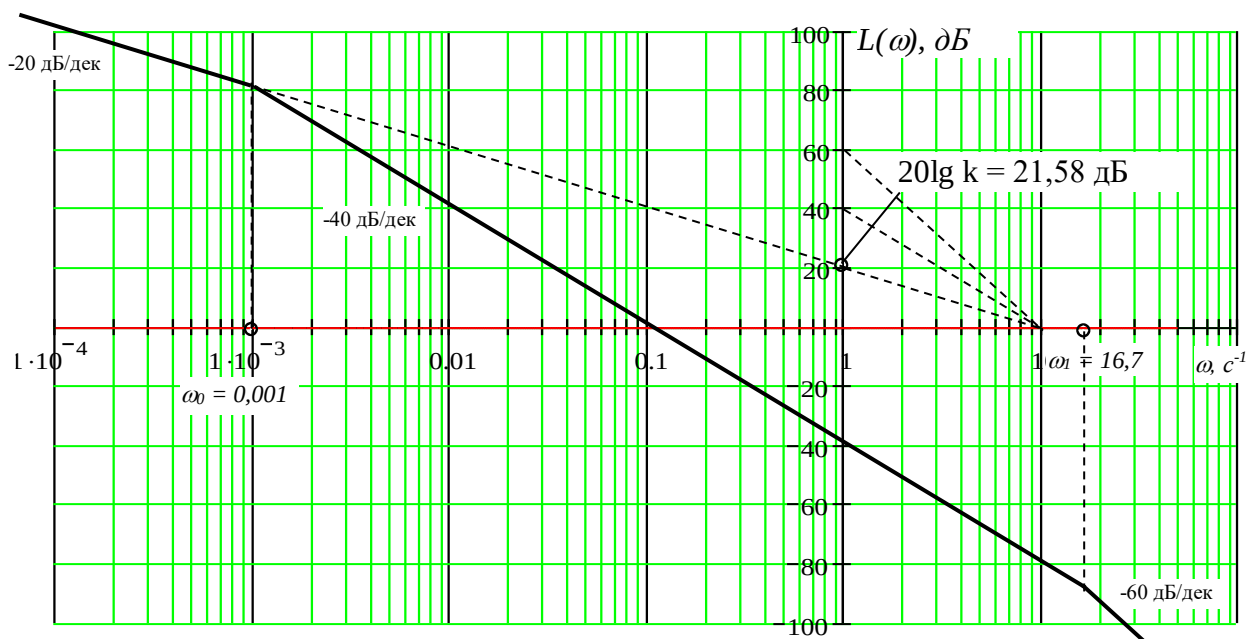


Рисунок 4.4 – ЛАЧХ розімкнутої системи $L(\omega)$

4.6.3 Побудова ЛФЧ характеристики розімкнутої системи

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

$$\phi(\omega) = \left(-\arctg(\omega T_0) - \arctg(\omega T_1) - \frac{\pi}{2} \right) \cdot \frac{180}{\pi}. \quad (4.15)$$

Підставивши значення відповідних сталих часу і змінюючи частоту від нуля до сотень, за допомогою редактора Mathcad отримаємо графік ЛФЧ характеристики (рис. 4.5).

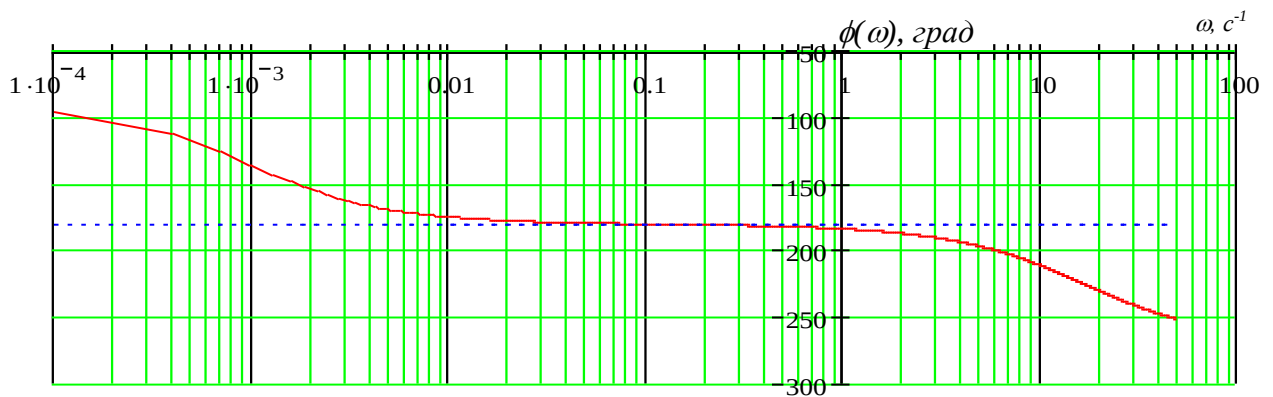


Рисунок 4.5 – ЛФЧХ розімкнутої системи $\phi(\omega)$.

4.7 Побудова дійсної частотної характеристики замкнутої системи

Для побудови характеристики дійсної частотної замкнутої системи слід виділити дійсну частину передаточної функції замкнутої системи, зробивши заміну $p = j\omega$ ($j = \sqrt{-1}$, ω - частота). Змінюючи частоту від 0 до ∞ , відкласти відповідні значення $P_s(\omega)$:

$$W_s(\omega) = \frac{k}{-jT_1T_0\omega^3 - (T_1 + T_0)\omega^2 + j\omega + k} = \frac{k((k - (T_1 + T_0)\omega^2) - j(\omega - T_1T_0\omega^3))}{(k - (T_1 + T_0)\omega^2)^2 + (\omega - T_1T_0\omega^3)^2}$$

Провівши певні перетворення, отримаємо:

$$P_s(\omega) = \frac{k \cdot (k - (T_1 + T_0) \cdot \omega^2)}{(k - (T_1 + T_0) \cdot \omega^2)^2 + (\omega - T_1 \cdot T_0 \cdot \omega^3)^2}$$

Змінюючи частоту від 0 до ∞ , відкладемо відповідні значення $P_s(\omega)$ (рис. 4.6).

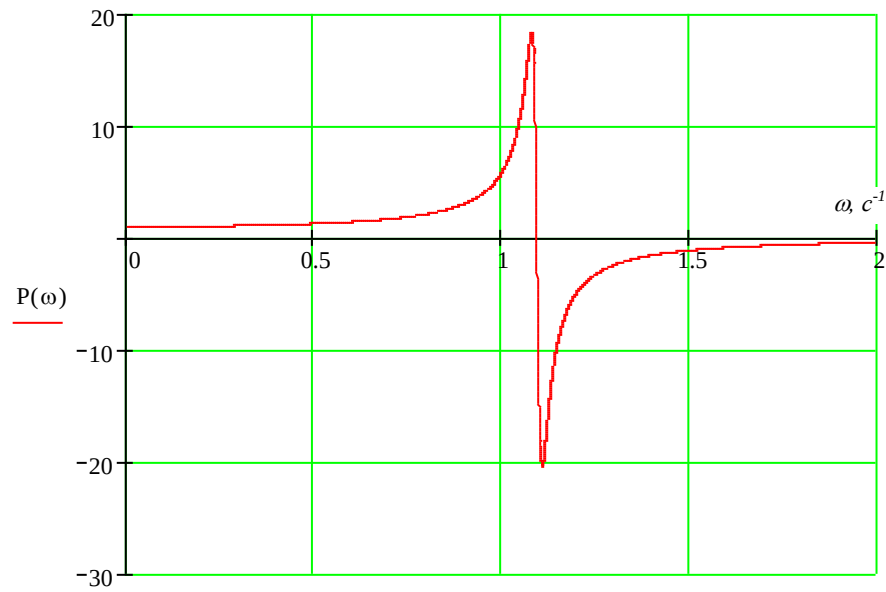


Рисунок 4.6 – Дійсна частотна характеристика замкнутої системи

4.8 Визначення стійкості системи, запасів стійкості, побудова області стійкості

Границі або ділянку зміни одного або кількох параметрів системи можна знайти за допомогою методу D -розбиття [4].

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

Характеристичне рівняння має вигляд:

$$T_1 T_0 p^3 + (T_1 + T_0) p^2 + p + k_0 k_2 k_3 k_4 k_5 = 0.$$

Запишемо характеристичне рівняння відносно k_4 :

$$K(p) = -\frac{T_1 T_0 p^3 + (T_1 + T_0) p^2 + p}{k_0 k_2 k_3 k_5}$$

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

$$P(\omega) = -\frac{-(T_1 + T_0)\omega^2}{k_0 k_2 k_3 k_5}; \quad Q(\omega) = -\frac{\omega - T_1 T_0 \omega^3}{k_0 k_2 k_3 k_5}.$$

Побудуємо криву D-розбиття в площині параметру k_4 при зміні частоти від $-\infty$ до $+\infty$ (рис. 4.7, слайд 05.03).

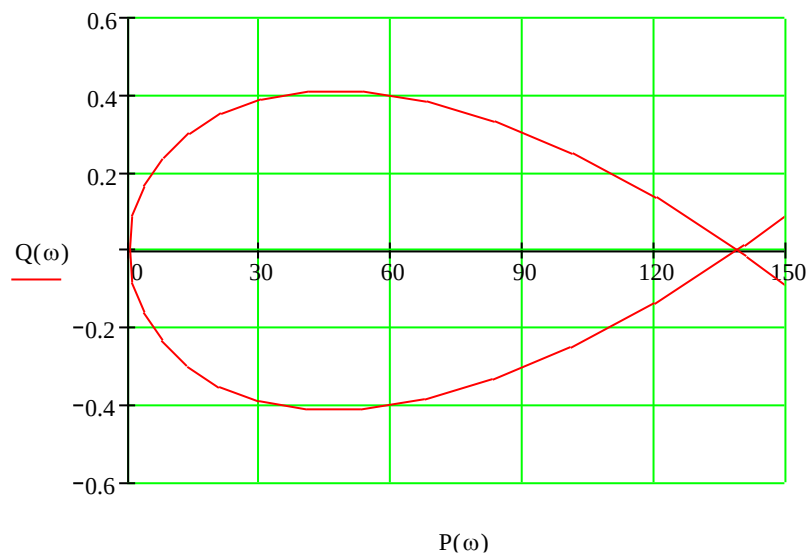


Рисунок 4.7 – D-розбиття в площині параметру k_4 .

З області стійкості можна визначити граничне значення коефіцієнта k_4 , яке дорівнює $k_{4кр} = 140$. Оскільки у стійкій системі всі корені містяться зліва від уявної вісі, при здійсненні обходу її від $-\infty$ до $+\infty$ ділянка стійкості також буде з лівого боку від побудованої кривої. Для зручності відшукування ділянки стійкості доцільно нанести на криву (рис. 4.7) смужки зліва при русі від $-\infty$ до $+\infty$. Задане значення коефіцієнта підсилення підсилювача $k_4 = 100$ входить в окреслену зону стійкості, а значить для подальших розрахунків можна залишити задане значення цього параметра.

4.9 Оцінка якості регулювання замкнутої системи по ЛАЧХ розімкнутої системи

Визначимо та частоту зрізу, запас стійкості по модулю і фазі. Для визначення цих величин будемо ЛАЧ і ЛФЧ характеристики розімкненої системи, виконуємо їх взаємне розміщення (рис. 4.8).

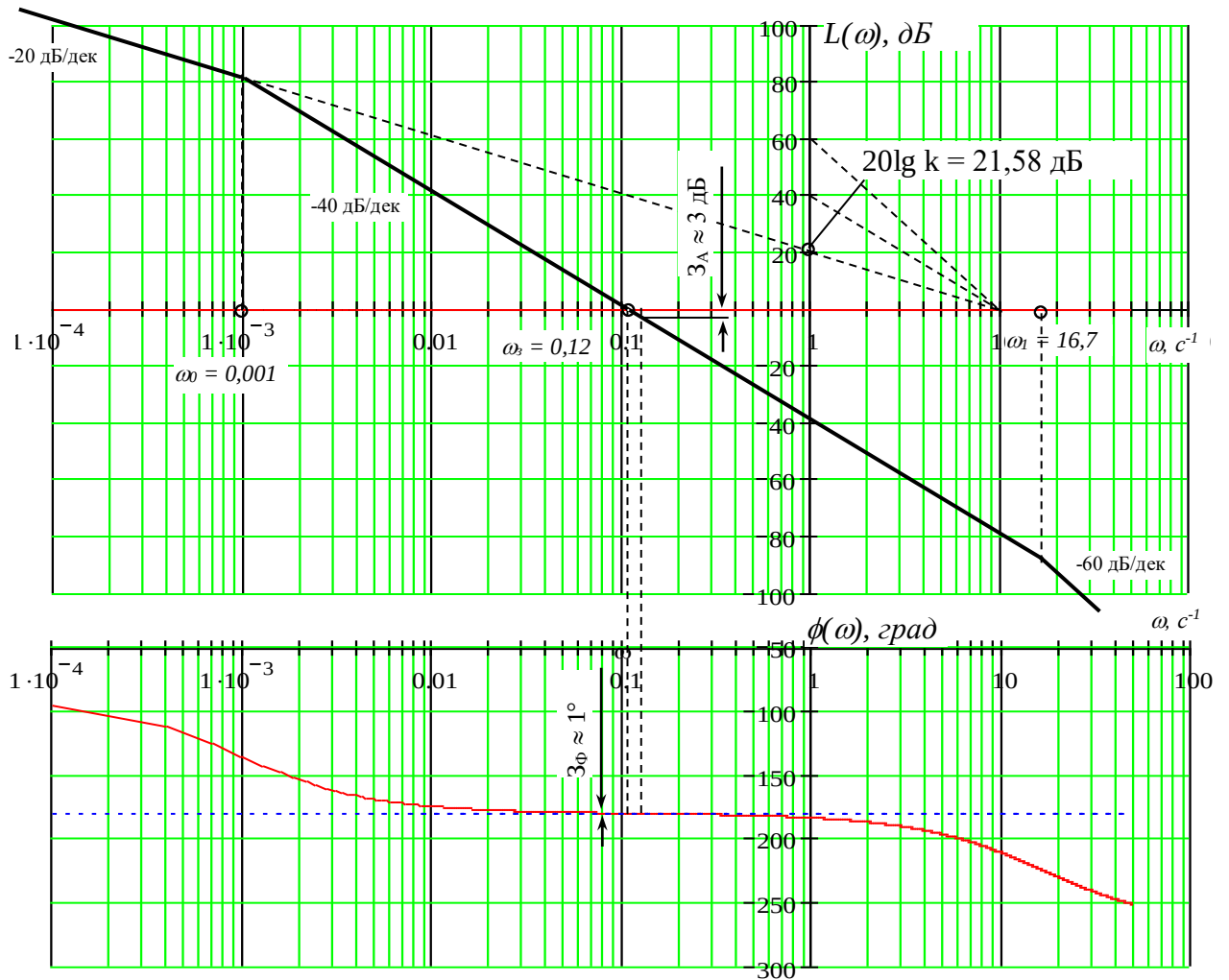


Рисунок 4.8 – Оцінка якості регулювання замкнутої САР по ЛАЧХ розімкнутої системи

З даної побудови можна визначити: частота зрізу $\omega_z = 0,12 \text{ c}^{-1}$, звідки можна визначити час регулювання, поставивши систему в жорсткі умови,

$$t_p = \frac{2\pi}{\omega_z} = 52,36 \text{ c}; \text{ запас стійкості по амплітуді } z_A \approx 3 \text{ дБ, запас стійкості по фазі}$$

$$z_\phi \approx 1^\circ.$$

4.10 Побудова перехідного процесу замкнутої системи

Регульована в часі величина при подачі на вхід системи ступінчастого додиничного іяння описується залежністю

$$h(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} P_3(\omega) \frac{\sin(\omega t)}{\omega} d\omega \quad (4.16)$$

За даною залежністю за допомогою редактора Mathcad отримаємо графік перехідного процесу системи (рис. 4.9.1, слайд 06.02).

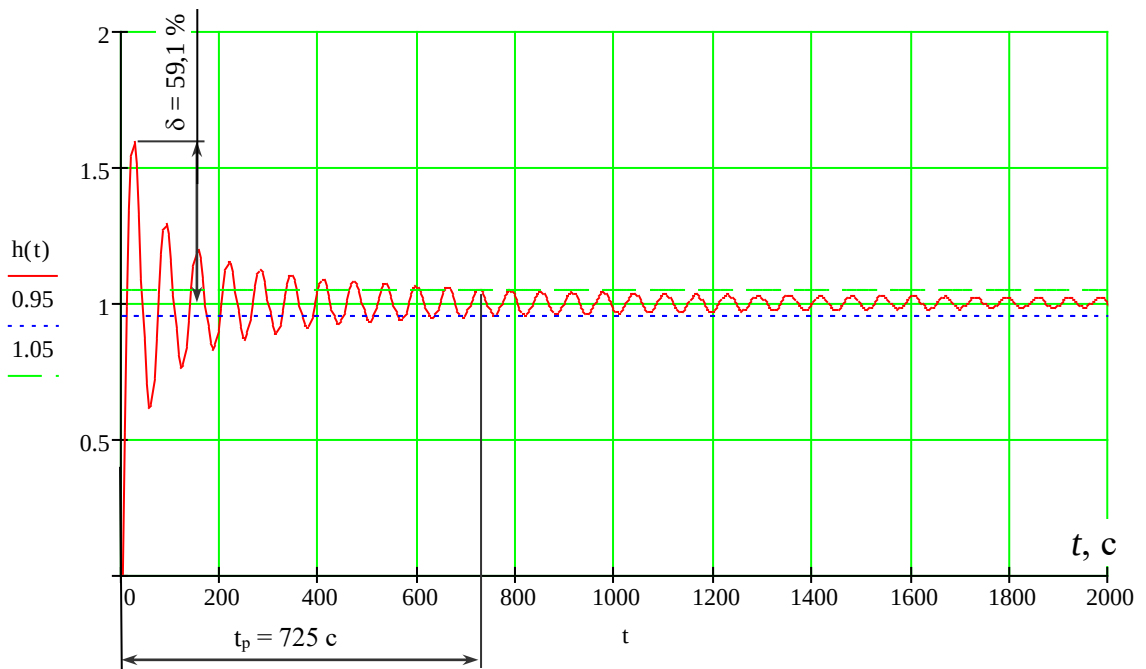
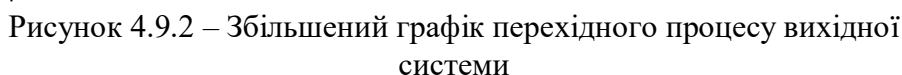


Рисунок 4.9.1 – Графік перехідного процесу вихідної системи



З побудованого перехідного процесу визначимо прямі показники якості системи:

- 75

- час наростання перехідного процесу $t_n = 10$ с – це час досягнення вихідною величиною усталеного значення;
- декремент затухання перехідного процесу характеризує затухання перехідного процесу, це відношення відхилень сусідніх коливань $d = 2,02$.

Згідно вимог до системи, час регулювання для проведення її аналізу та синтезу приймається зменшеним на 30 % від отриманого, для розрахунків приймемо час регулювання, визначений по ЛАЧХ через ω_z , тобто $t_p = 52,36$ с, зменшимо його на 30 %, отримаємо $t_p = 36,65$ с.

4.12 Побудова бажаної ЛАЧХ системи

Побудова бажаної ЛАЧ характеристики виконується в кілька етапів (рис. 4.10, слайд 06.01).

В області низьких частот побудова аналогічна до побудови ЛАЧ характеристики незмінної системи. Проводиться асимптота з нахилом -20 дБ/дек через точку з координатами $20 \lg k = 21,58$ дБ.

В області середніх частот побудова – це найбільш відповідальна асимптота. В даному діапазоні ЛАЧ характеристика визначається тривалістю перехідного процесу та заданими значеннями перегулювання. З міркувань наближення реального процесу до оптимального нахил середньо частотної асимптоти ЛАЧХ бажаної вибирається -20 дБ/дек. Вибір частоти зрізу ω_z виконують на підставі нерівності $\omega_{z\min} \leq \omega_z \leq \omega_{z\text{opt}}$. Щоб задовольнити вимоги до якості системи, доцільно, щоб ω_z була менше частоти зрізу $\omega_{z\text{opt}}$, яка визначається за прискоренням максимальним координати і величиною ступінчатого керуючого сигналу. Дана частота ω_z повинна бути більше $\omega_{z\min}$, яка вибирається за значенням максимального перегулювання δ_m та тривалістю регулювання t_p . По значенню δ_m за допомогою кривої $\delta = f(P_{z\max})$ номограми визначаємо значення $P_{z\max}$. По значенню $P_{z\max}$ за допомогою кривої $t_p = f(P_{z\max})$

визначаємо значення $\frac{3\pi}{t_p}$. Цю величину прирівнюємо до значення $t_p = 73,3$ с і з

отриманого рівняння частоту зрізу визначаємо $\omega_{z \min} = 0,257$ с⁻¹.

Вибрану частоту зрізу $\omega_z = 1,4$ с⁻¹, наносимо на графік. Будуємо середньочастотну асимптоту, провівши її через точку ω_z на осі абсцис з нахилом -20 дБ/дек.

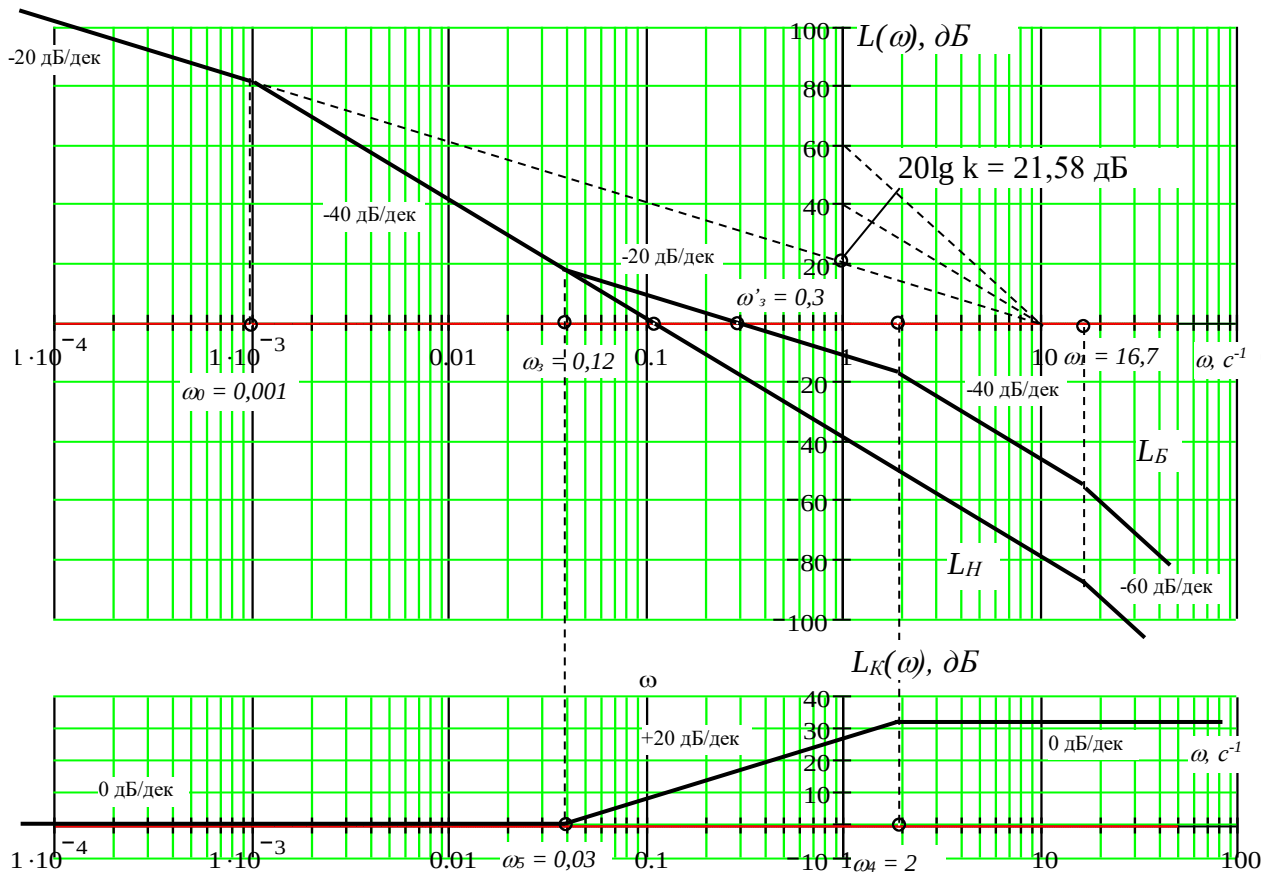


Рисунок 4.10 – Побудова бажаної ЛАЧХ та визначення ЛАЧХ коректуючого пристрою

4.13 Синтез коректуючого пристрою системи за ЛАЧХ

ЛАЧ характеристику коректуючого пристрою визначаємо як різницю незмінної та бажаної ЛАЧ характеристики $L_K(\omega) = L_B(\omega) - L_H(\omega)$ (рис. 4.11). За виглядом ЛАЧ характеристики коректуючого пристрою обираємо схему ланки коректуючої і записуємо її передаточну функцію:

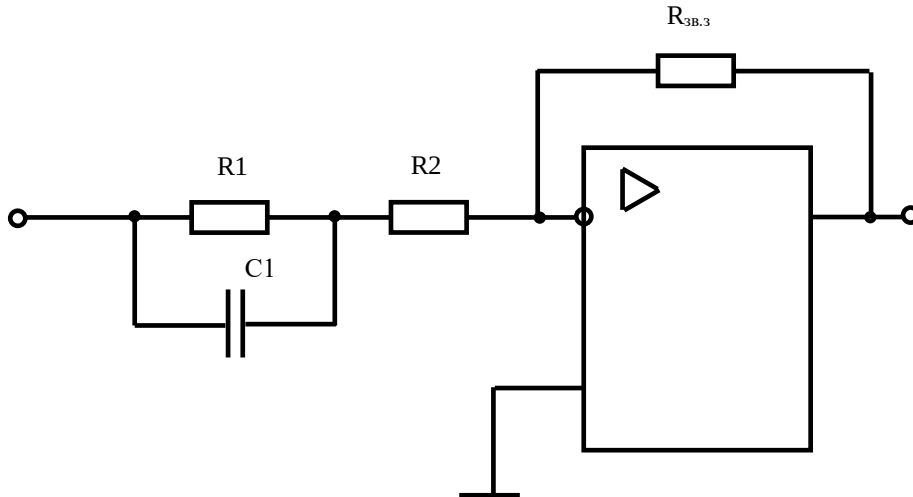


Рисунок 4.11 – Схема коректуючого пристрою

Передаточна функція такого чотирьохполюсника у загальному вигляді:

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

де $T_4 = 1/\omega_4 = 1/2 = 0,5$ с;

$T_5 = 1/\omega_5 = 1/0,03 = 33,33$ с

Матимемо передаточну функцію коректуючого пристрою, підставивши у рівняння загального виду сталі часу, :

$$W_{\text{кл}}(p) = \frac{1 \cdot (33,33p + 1)}{(0,5p + 1)}$$

За допомогою формул параметри обчислюємо R_1 , R_2 , C коректуючої ланки:

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

Номінали елементів коректуючого пристрою отримаємо, задавши $C = 2 \times 10^{-6} = 2$ мкФ, отримано такі значення опорів:

$$R_1 = T_5 / C = 33,33 / 2 \times 10^{-6} = 16,67 \times 10^6 = 16,67 \text{ МОм.}$$

Далі, через те, що $k = T_4 / T_5 = 0,5 / 33,33 = 0,015$ і $k = \frac{R_2}{R_2 + R_1}$,

$$R_2 = \frac{k R_1}{1 - k} = \frac{0,015 \cdot 16,67 \times 10^6}{1 - 0,015} = 253,858 \times 10^3 \approx 254 \text{ кОм.}$$

Вибираємо номінали резисторів зі стандартного ряду опорів $R_1 = 16 \text{ МОм}$, $R_2 = 270 \text{ кОм}$.

Вибрана коректуюча ланка є активним чотириполіусником. Для забезпечення $k = 1$ необхідно прийняти $R_{зв.3} = R_1 + R_2 \approx 16,270 \text{ МОм}$. Зі стандартного ряду опорів приймаємо $R_{зв.3}$ номіналом 16 МОм .

4.14 Побудова кривої перехідного процесу синтезованої системи

Передаточна функція замкнутої скорегованої системи

$$W_{зк}(p) = \frac{k(T_5 p + 1)}{p(T_1 p + 1)(T_0 p + 1) \cdot (T_4 p + 1) + k \cdot (T_5 p + 1)} \quad (4.17)$$

Провівши заміну $p = j\omega$, виділимо дійсну частину функції передаточної скорегованої замкнутої системи для побудови дійсної ЧХ. Дану операцію здійснимо засобами редактора Matcad, для чого слід записавши значення сталих часу динамічних ланок, коефіцієнтів підсилення та вираз передаточної функції в робочій області екрана, ввести наступний вираз: $P(\omega) := \text{Re}(W(\omega))$.

Це дасть змогу побудувати дійсну ЧХ скоректованої системи (рис. 4.12).

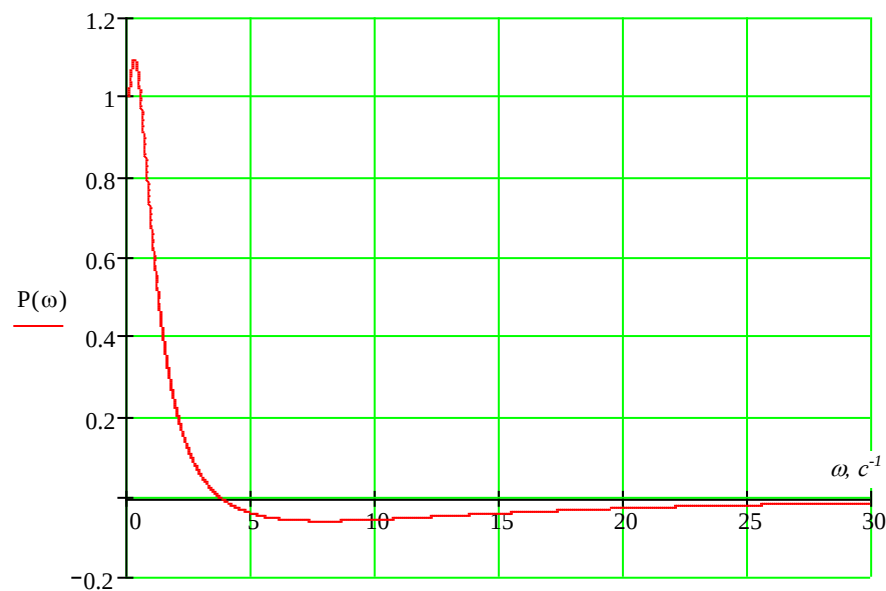


Рис. 4.12 Дійсна частотна характеристика замкнутої скорегованої системи.

Побудуємо криву перехідного процесу синтезованої системи (рис. 4.13, слайд 05.02).

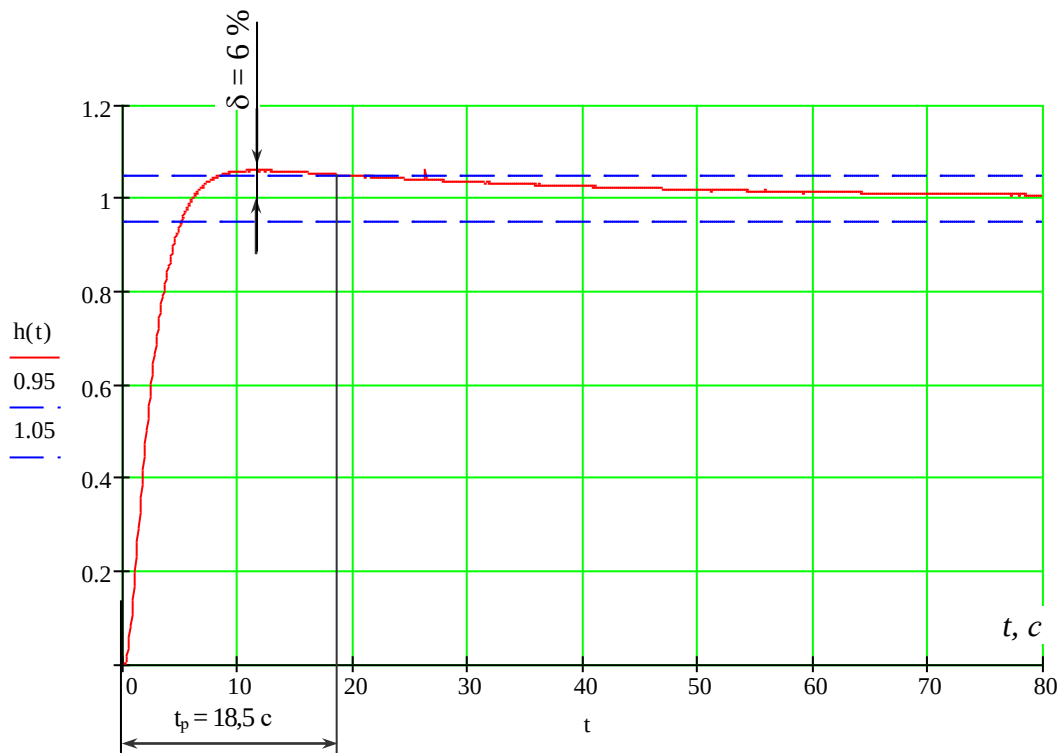


Рисунок 4.13 – Графік перехідного процесу системи, розробленої шляхом синтезу

4.15 Визначення прямих показників якості синтезованої системи

З побудованого перехідного процесу прямі показники якості системи:

- час регулювання $t_p = 18,5 \text{ c}$;
- перерегулювання $\delta = 6 \%$;
- час досягнення першого максимуму $t_{\max} = 11,1 \text{ c}$;
- час наростання перехідного процесу $t_n = 6,1 \text{ c}$;
- перехідний процес аперіодичний з перерегулюванням (на відміну від перехідного процесу вихідної системи).

Таким чином, реалізація отриманого виразу передаточної функції коректуючого пристрою задовольнить задані вимоги по якості системи.

5 ОРГАНІЗАЦІЯ РОБІТ ПО ОБСЛУГОВУВАННЮ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ВОДИ

5.1 Монтаж системи регулювання температури технологічної води

Розміщення вузлів системи слід виконати в компоновочній шафі типу БИиВД, що забезпечує зручність монтажу та обслуговування. Монтаж мікропроцесорного блоку має враховувати не лише легкість обслуговування, ремонтних робіт і налаштування системи, але й можливість подальшого розширення функціональних можливостей. Це включає передбачення місця для додаткових блоків, таких як вимірювачі температури середовища чи швидкості подачі води, що дозволить адаптувати систему до майбутніх потреб без значних змін у конструкції шафи.

Прилади, що знаходяться в шафі, здатні працювати безперервно протягом тривалого часу за умови дотримання нормальних експлуатаційних умов. Для забезпечення стабільної роботи та запобігання впливу вібрацій, які можуть негативно позначитися на контактах електричних з'єднань і викликати зміни в налаштуванні вузлів та елементів системи, шафа встановлюється в спеціально відведеному приміщенні, зокрема в кабінеті службового персоналу. Для додаткової захисту шафа монтується на амортизаторах, що дозволяє ефективно знижувати рівень вібрацій і забезпечувати довготривалу стабільність роботи обладнання.

Вологе повітря, бруд і пил можуть знижувати опір ізоляції, що веде до порушення нормального режиму роботи приладів. Присутність агресивних газів в атмосфері сприяє окисленню поверхонь реохордів задавачів та контактів реле, що негативно позначається на їхній функціональності та довговічності. Крім того, на ефективність роботи системи може впливати наявність магнітних полів у зонах розташування вторинних пристроїв та датчиків, а також на ділянках прокладання ліній між датчиками та вторинними приладами. Магнітні поля можуть спричиняти електричні наведення, які знижують точність вимірювань та стабільність роботи всієї системи. Для мінімізації цих впливів необхідно враховувати умови експлуатації та застосовувати відповідні заходи захисту, такі як екрани від магнітних полів,

поліпшена герметизація та фільтрація повітря, а також використання матеріалів, стійких до корозії..

При високій вологості повітря в корпусі шафи необхідно розмістити контейнер з хімічним осушувачем, який слід періодично обробляти для відновлення його ефективності. Крім того, важливо забезпечити належне заземлення приладів, оскільки недостатньо якісне заземлення може спричинити додаткові помилки в показах вторинних приладів через виникнення небажаних електричних перешкод. Для заземлення не рекомендується використовувати опалювальні або водопровідні системи, оскільки вони можуть не забезпечити достатнього рівня захисту і в разі несправності призвести до небажаних наслідків для роботи системи та безпеки обладнання.

Лінія, яка постачає електричну енергію для силових пристроїв, піддається впливу коливань напруги, викликаних змінами навантаження. Це може призвести до виникнення помилок, зумовлених високочастотними струмами, які виникають через дугові розряди в силових агрегатах. Для забезпечення стабільної роботи пристроїв і мінімізації впливу таких перешкод, напругу живлення до них рекомендується подавати від КВП-ліній (контрольно-вимірювальних приладів). Підключення приладів до електричної мережі здійснюється через розподільчі трансформатори, що дозволяє ізолювати чутливі елементи системи від потенційних перешкод і знизити вплив змін напруги на їх роботу.

Для мінімізації наводок промислової частоти на вихідні ланцюги приладу, один з кінців обмотки вторинного розподільчого трансформатора повинен бути заземлений. Це особливо важливо для приладів, вимірювальні схеми яких живляться від стабілізованих мережних джерел, а також для приладів з високим вхідним опором. Розподільчий трансформатор повинен мати достатній запас потужності, щоб уникнути перевантажень, оскільки перевантаження призводить до спотворення форми кривої струму та зниження напруги на вторинній обмотці. Підключення розподільчого трансформатора до мережі здійснюється через двополюсний рубильник і запобіжники, що забезпечують додатковий захист від можливих коротких замикань і перевантажень.

Для підведення напруги до шафи використовується дріт з водонепроникною прорезиненою ізоляцією. Діаметр дротів повинен бути не менше 1 мм, щоб забезпечити достатню пропускну здатність і надійність. З метою запобігання механічним пошкодженням, драти повинні прокладатися в металевих гнучких шлангах або трубах, які мають бути надійно заземлені для забезпечення безпеки. Вводи дротів до шафи герметизуються за допомогою ущільнювальних втулок, що гарантують захист від пилу, вологи та інших зовнішніх впливів, а також забезпечують збереження електричної ізоляції та підвищують надійність з'єднань.

Нарощування дротів слід уникати, оскільки такі з'єднання можуть стати джерелом електричних проблем, тому в разі необхідності стики дротів обов'язково повинні бути пропаєні для забезпечення надійності контакту. Після прокладання проводки необхідно провести перевірку опору ізоляції, який має бути не менше 10 МОм для гарантування безпеки та ефективності роботи системи.

Вимоги до проводів, що з'єднують датчики з вторинними приладами, можуть змінюватися в залежності від типу використовуваних приладів і датчиків. Важливим є те, щоб проводка від датчиків до приладів була прокладена в захисних сталевих трубах, що забезпечує додатковий захист від механічних пошкоджень, електричних впливів та зовнішніх факторів. Також слід прокладати ці драти окремо від силових проводів, щоб уникнути завад і перекриттів сигналів.

5.2 Налагоджування системи регулювання температури технологічної води

Перевірку цілісності блоків проводять перед їх монтажем, а також при виявленні пошкоджень під час експлуатації пристрою або під час профілактичних робіт. Обов'язковим етапом перевірки є контроль таких параметрів, як основна похибка запису, основна похибка спрацювання вторинного приладу, поріг чутливості, варіація показань приладу, сигналізація про обрив в ланцюзі приладу, а також перевірка коректної роботи механізму установки робочого струму.

Перевірка приладів повинна проводитися за таких умов: температура навколишнього середовища повинна бути в межах $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$, частота струму живлення — $50 \pm 0,5$ Гц, а напруга живлення не повинна відрізнятися від номінальної більше ніж на 3%. Також перевірка має здійснюватися за відсутності сторонніх магнітних полів, що можуть вплинути на точність вимірювань і роботу системи в цілому.

5.3 Особливості експлуатації системи регулювання температури технологічної води

При належній експлуатації автоматичні прилади можуть функціонувати безперервно та надійно протягом тривалого часу. Важливо, щоб умови, що забезпечують нормальну роботу електронних приладів, залишались стабільними протягом усього їхнього експлуатаційного строку. Необхідно уникати перевищення допустимих меж коливань напруги живлення мережі, щоб запобігти пошкодженням і зниженню ефективності приладів.

При температурі навколишнього середовища, що перевищує 40°C , потрібно збільшити вентиляцію приміщення. В умовах низьких температур приміщення має бути опалювальним. У запилених або вологих приміщеннях важливо контролювати стан ущільнювачів, а також стежити за ефективністю роботи хімічних осушувачів, якщо вони використовуються.

У процесі експлуатації необхідно регулярно проводити огляд і планово-попереджувальний ремонт вузлів та агрегатів. Під час огляду блоки виймаються з шафи і, за потреби, направляються в майстерню для очищення від бруду та пилу за допомогою ганчірки та продувки стиснутим повітрям. Далі проводиться перевірка стану електричної проводки, а також перевірка надійності всіх затискачів і з'єднань без винятку. Після усунення всіх неполадок і перевірки коректної роботи блоків, вони знову встановлюються в шафу, готові до подальшої експлуатації.

ВИСНОВКИ

Метою цієї випускної кваліфікаційної роботи було дослідження та вдосконалення процесу регулювання температури води в зольному цеху підприємства з виробництва шкіри. Це досягалося шляхом розробки та впровадження системи автоматичного регулювання температури води в магістральному трубопроводі, що дозволило підвищити ефективність управління тепловими процесами, забезпечити стабільність температурного режиму та оптимізувати витрати енергоресурсів.

У процесі виконання роботи була здійснена загальна характеристика типового шкіряного підприємства, зокрема, аналіз виробленої продукції та структури управління. Було встановлено, що кожен вид продукції, що виготовляється на підприємстві, включає обов'язковий етап обробки шкіри, зокрема, процес обезволосення, який є важливою складовою частиною технологічного циклу виробництва шкіри.

З огляду на важливість та необхідність регулювання температури води в складі технологічного процесу, була здійснена детальна характеристика засобів для визначення та регулювання цього параметру. Зокрема, було обрано відповідний датчик температури, розглянуто різні методи та інструменти для регулювання температури води та коригування витрати рідини в трубопроводі, а також визначено їх основні переваги та недоліки. Аналіз процесу виготовлення шкіри показав, що значна частина операцій, таких як контроль за температурою води, виконується вручну оператором зольної галереї, що може призводити до неефективності і помилок в процесі управління технологічними параметрами.

Для реалізації автоматизації процесу регулювання температури води було проведено детальний огляд наявних засобів вимірювання температури в проточних магістралях. Зокрема, було здійснено аналіз різних типів чутливих елементів, таких як напівпровідникові, терморезисторні та плівкові напівпровідникові датчики, з огляду на їх можливість застосування в умовах

конкретного технологічного процесу. При цьому оцінювались точність, швидкість реакції, надійність та відповідність вимогам до температурних режимів, а також їх здатність працювати в агресивному середовищі виробництва.

На основі проведеного аналізу існуючих рішень було обґрунтовано принцип побудови системи автоматичного регулювання (САР) температури води. Основною задачею цієї системи є регулювання положення заслонки подачі води для підтримки заданої температури у барабанах зольної галереї. Система складається з температурного датчика, який вимірює поточне значення температури, і підсилювача, який підвищує сигнал чутливого елемента до рівня, що підходить для введення в мікроконтролер. Мікроконтролер забезпечує зчитування сигналу датчика, порівняння цього значення з заданим температурним режимом і, на основі цього, формування керуючого сигналу, який активує безконтактний реверсивний пускач для управління приводом заслонки. Такий підхід забезпечує точне автоматичне регулювання температури, що є критично важливим для стабільної роботи зольного цеху та підтримання оптимальних умов технологічного процесу.

Розроблена структура цієї системи включає проектування її функціональної, структурної та електричної принципової схем. Для підтвердження ефективності і працездатності системи були виконані розрахунки стійкості, що дозволили оцінити її здатність стабільно працювати в різних умовах експлуатації. Крім того, було визначено основні показники якості роботи системи, на основі яких здійснено синтез коректуючого пристрою. Реалізація цього пристрою дозволить покращити параметри роботи системи, забезпечуючи кращу точність регулювання і стабільність температури в порівнянні з початковою конфігурацією. Завдяки вдосконаленій схемі управління, система здатна забезпечити більш ефективне і надійне регулювання температури, що позитивно впливає на загальну ефективність технологічного процесу.

Для забезпечення безперебійної та ефективної роботи спроектованої системи регулювання температури води були розглянуті заходи, пов'язані з її монтажем, налаштуванням і подальшою експлуатацією. Включаючи правильне

розміщення компонентів системи, підключення необхідних електричних та комунікаційних ліній, а також перевірку взаємодії між усіма елементами на етапі налагодження. Окрім цього, для досягнення максимальної надійності та стабільності в роботі системи, були визначені процедури регулярного обслуговування та технічного контролю, що дозволять своєчасно виявляти та усувати можливі неполадки. Усі ці заходи спрямовані на забезпечення довгострокової безвідмовної роботи системи та досягнення оптимальних результатів в процесі регулювання температури води.

Список літератури

1. Технологія і обладнання шкіряно – хутрового виробництва: Навч. Посібник / Данилкович А. Г. , Ліщук В. І. – 2-ге вид., перероб. І доп. – К. : Фенікс, 2007. – 312 с. : іл.
2. Журавський В. А. Технологія шкіри та хутра : [підручник] / В. А. Журавський, Е. Є. Касьян, А. Г. Данилкович. – К. : [ДАЛПУ], 1996. – 743, [1] с.
3. Е. Є. Касьян. Основи технології шкіри та хутра: Навчальний посібник. – К. : КДУТД, 2001. – 252 с.
4. Технологія і матеріали виробництва шкіри: навч. посібник / Данилкович А. Г., Мокроусова О. Р., Охмат О. А.; під ред. А. Г. Данилковича. – К. : Фенікс, 2009. – 580 с. : іл.
5. Гостев В.И., Стеклов В.К. Системы автоматического управления с цифровыми регуляторами. – К.:”Радиоаматор” 1998. – 704 с.
6. Бойко Н.П., Стеклов В.К. Системы автоматического управления на базе микро-ЭВМ. – К.: Техніка, 1989. – 182 с.
7. Справочник по наладке автоматических устройств контроля и регулирования. - Киев: “Наукова думка”, 1981. – 940 с.
8. Технология строительного производства / Под ред. О.О.Литвинова, Ю.И.Белякова. – К.: Высш. шк., 1984. – 479 с.
9. Циприанович И.В., Старченко А.Ю. Комплексные системы сухого строи-тельства. – К., 1998. – 114 с.
10. ДСТУ Б В.2.7-61-2008. Цегла та камені керамічні рядові та лицьові. Технічні умови. [Текст]. – Чинний від 2008-12-25.).
11. ДСТУ Б В.2.7-60.97: Сировина глиниста для виробництва керамічних будівельних матеріалів. Класифікація. [Текст]. – Чинний від 1997-07-01.
12. Черненко В.К., Ярмоленко М.Г. та ін. Технологія будівельного виробництва Підручник. — К.: Вища шк. , 2002. — 430с.
13. Ярмоленко М.Г. та ін. Технологія будівельного виробництва К.: Вища шк., 2005. — 342 с.

14. Коцій Я.Й., Іваник І.Г. Технологія будівельного виробництва Курс лекцій для студентів інженерно-будівельного профілю / Укл.: Я. Й. Коцій, к. т. н., доц.; І.Г. Іваник, к. т. н., доц.; С. І. Віхоть, м. н. с. – Львів: 2006. -94 с.

15. Костинюк Л.Д. Паранчук Я.С. Мікропроцесорні засоби та системи. Навчальний посібник Львів 2001. - 200с.

16. Ніколаєнко А.М. Міняйло Н.О. Мікропроцесорні та програмні засоби автоматизації Навчальний посібник. — Запоріжжя: ЗДІА, 2011. — 444 с.

17. Основи охорони праці : підручник для студентів вищих навчальних закладів / Жидецький В.Ц. - 3-тє вид., перероб. та доп. - Львів : Українська академія друкарства, 2006. - 336 с. - Б. ц.

18. Гандзюк М.П., Желібо Є.П, Халімовський М.О. Основи охорони праці: Підручник. 3-є вид. / За ред. М.П. Гандзюка. – К.: Каравела, 2006. – 392 с.