

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота складається з графічної частини і пояснювальної записки.

Об'єм графічної (ілюстративної) частини кваліфікаційної роботи становить 21 слайд.

Об'єм пояснювальної записки складає 59 друкованих сторінки формату А4 (210×297).

В кваліфікаційній роботі нараховується 17 рисунків та 6 таблиць з даними. Використано 16 літературних джерел.

У даній кваліфікаційній роботі розглянуто питання розробки автоматизованої системи керування технологічним процесом сушіння деревини. Метою даної роботи є впровадження автоматизованого управління, що дозволило б покращити процес сушіння деревини та зменшити випуск неякісно висушених пиломатеріалів.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	10
1.1. Аналіз автоматизації технологічного процесу, що лежить в основі завдання на проектування.....	10
1.2. Принципи задання режимів сушіння.....	15
1.3. Використання камер періодичної дії для сушіння деревини	16
1.4. Пуск камери та початкова обробка.....	17
1.5. Проведення процесу сушіння.....	19
1.6. Розрахунок витрати теплоти	20
2. ПРОЕКТНА ЧАСТИНА.....	25
2.1. Аналіз технологічного процесу, як об'єкту керування	25
2.2. Обґрунтування вибору функціональної схеми автоматизації	26
2.3. Обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації	30
2.4. Опис програми керування контролером	35
2.5. Опис електричних схем з'єднань	38
3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	41
3.1. Розрахунок автоматичної системи регулювання	41
3.2. Дослідження впливу одного з параметрів системи на стійкість системи (метод D-розбиття).....	46
4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ХОРОНИ ПРАЦІ.....	50
4.1. Характеристика об'єкта проектування з точки зору охорони праці.....	50
4.2. Безпека праці при тепловій обробці виробів	51

4.3.Вибір приміщення для пункту управління	53
4.4.Заходи по забезпеченню безпеки технологічного процесу	55
ВИСНОВКИ.....	57
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	58

ВСТУП

Ключовим технологічним процесом, що корінним чином підвищує якість деревини як матеріалу, - є її обезводнення, яке здійснюється методом сушіння до необхідної кінцевої вологості. В результаті правильного проведення цього процесу з біологічно нестійкої, технологічно нестабільної сировини деревина перетворюється в пінний будівельний, конструкційний та декоративний матеріал з рядом визначених позитивних властивостей.

Видалення вологи з деревини при сушінні пов'язане із значними труднощами, що пояснюються відносно великою товщиною матеріалу та зміною розмірів деревини при висиханні. При неправильному проведенні процесу сушіння може мати місце нерівномірне просушування матеріалу, його розтріскування, короблення, а також при механічній обробці та в майбутньому - готових деталей та виробів.

Дерев'яні вироби, виготовлені з непросушеної деревини, недовговічні, вони передчасно виходять з ладу. Меблі, виготовлені з недостатньо просушеної деревини, розвалюються на протязі декількох місяців, в той же час як ті ж меблі, виготовлені з добре просушеної деревини, служать багато років.

Специфіка сушіння деревини обумовлюється складністю її проведення із-за різноманітності фізико-механічних властивостей різних порід, анізотропії будови деревини в трьох основних напрямках, неоднакових якісних умов до процесу сушіння, складності фізичних явищ, що виникають при сушінні. Все це ускладнює встановлення аналогів у технології і техніці сушіння та знаходження типових рішень.

Процес сушіння - найбільш тривалий та один з найдорожчих процесів в усій технології деревообробки, тому ділянка сушіння дуже відповідальна, вона вимагає до себе великої уваги та високої кваліфікації спеціалістів-сушильщиків.

На даний час відомі наступні способи сушіння деревини: підсушення на корені, атмосферне сушіння, камерне сушіння, контактне сушіння, сушіння в полі гідрофобних рідин, індукційне сушіння, вакуумне сушіння, ротаційне сушіння, радіаційне сушіння.

Камерне сушіння - основний спосіб сушіння деревини. Камерне сушіння проводиться при підвищених (проти атмосферних умов) температурах агенту сушіння. При камерному сушінні регулюються температура, вологість та швидкість циркуляції агенту сушіння в залежності від виду та стану матеріалу, що висушується. Воно дозволяє отримувати матеріали потрібної якості та заданої вологості.

Для проведення процесу камерного сушіння деревини необхідно виконувати наступні операції:

- 1) контролювати та підтримувати задані значення температури;
- 2) визначати змінну вологість деревини в процесі сушіння;
- 3) контролювати стан матеріалу в камері, зокрема визначати перепад вологості в деревині та величину внутрішніх напруг в процесі сушіння.

Ці операції повинні відбуватися без заходу обслуговуючого персоналу в камеру. В наш час найбільш задовільно вирішене питання дистанційного контролю та автоматичного регулювання параметрів середовища в камерах. Проводяться дослідження, що вивчають дистанційний контроль за зміною вологості деревини в процесі сушіння та розробку дистанційного спостереження за станом пиломатеріалів (поява тріщин, короблення). Але праці, що визначають дистанційний метод визначення внутрішніх напруг в деревині, носять тільки пошуковий характер.

Головна технологічна та техніко-економічна вимога до систем контролю, регулювання та автоматизації - забезпечення необхідної якості матеріалу при сушінні. Першочергове завдання вдосконалення контролю та регулювання даного процесу - це автоматичне встановлення моменту закінчення сушіння деревини, та крім того, автоматичне закінчення її

кондиціонування (для запобігання недосушіння або пересушіння матеріалу, а також в цілях виключення деформацій у висушеному матеріалі).

Аналізуючи сучасний стан технології сушіння матеріалів, слід відмітити, що меблеві та деревообробні підприємства укомплектовані сушильними камерами застарілих конструкцій на 72%, доля сучасних складає тільки 28%. Середній рівень автоматизації контролю та регулювання процесу складає 10...20%, що часто приводить до невиконання технологічних умов та низької якості камерного сушіння.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз автоматизації технологічного процесу, що лежить в основі завдання на проектування

В процесі сушіння деревини відбуваються наступні основні фізичні явища:

- теплообмін між матеріалом і навколишнім середовищем (агентом сушіння);
- випаровування вологи з поверхні матеріалу (вологовіддача);
- переміщення вологи в матеріалі;
- зміна розмірів деревини;
- термічне розширення в період прогріву та усадка (всихання) в процесі сушіння.

Ці зміни розмірів деревини викликають внутрішні напруження в ній, що приводить до зміни форми та тріщин при некваліфікованому проведенні процесу сушіння.

Видалення вологи відбувається в результаті випаровування. На відміну від кипіння випаровування може відбуватися при будь-якій позитивній температурі навколишнього середовища.

Якщо б завдання сушіння деревини зводилось тільки до випаровування вологи з поверхні матеріалу, технологія сушіння була б дуже простою. Все зводилось б до створення потужної циркуляції сухого гарячого повітря (газу) біля поверхні матеріалу для створення інтенсивного теплообміну і вологообміну з ним.

Але при сушінні деревини волога внутрішніх шарів перед тим як випаруватися повинна переміститися до поверхні. Швидкість переміщення вологи всередині деревини в багато разів менша, ніж можлива швидкість її випаровування з поверхні, тому зовнішні, поверхневі шари деревини, як

правило, висихають швидше, як внутрішні. Звідси висновок - тривалість сушіння деревини залежить в основному від швидкості просування (переміщення) вологи поперек волокон з середини деревини до поверхні.

Волога в деревині переміщується як у вигляді рідини, так і у вигляді пари. Пара переміщується по системі порожнини клітин - з'єднувальні поперечні пори; рідина - в товщині клітин по капілярах; можливе і комбіноване переміщення.

Рушійною силою для переміщення вологи з товщі деревини до поверхні є надлишковий тиск водяної пари та паро - повітряної суміші всередині деревини. Більш детально ця рушійна сила розшифровується слідуєчим чином.

З самого початку сушіння поверхня матеріалу швидко обсихає і вологість поверхні стає нижче точки насичення волокна. Значить, тиск водяної пари біля поверхні матеріалу рп буде менший, ніж її тиск всередині деревини, де є вільна волога. Перепад вологості між внутрішніми і поверхневими шарами висушеної деревини має місце на протязі всього процесу сушіння. Значить, завжди має місце різниця парціальних тисків водяної пари по товщині висушеного матеріалу: всередині більше, а біля поверхні менше.

Під впливом різниці парціальних тисків відбувається переміщення водяної пари. Крім того, волога переміщується у вигляді рідини під впливом різниці капілярного тиску; на ділянках підвищеної вологості капілярний тиск вищий, оскільки збільшується радіус мікрокапілярів, заповнених водою; дифузія вологи в мікрокапілярах відбувається за рахунок різниці парціального тиску. Властивість деревини переміщувати вологу (всередині себе) під дією різниці вологості в різних точках її називаються волого-провідністю.

Волога може переміщуватися всередині матеріалу також під впливом різниці температур; від місць з більш високою температурою до місць з більш низькою.

Випаровування вологи з поверхні викликає перепад вологості по січенню матеріалу. Так як перепад тиску без характеристики вологопровідності самої

деревини ще не дає можливості розрахувати швидкість руху вологи в ній, в рівняння тривалості сушіння звичайно входять кількісні значення волого-провідності (коефіцієнти волого-провідності) для різних порід та умов сушіння.

На збільшення швидкості руху вологи в деревині впливає підвищення температури, оскільки при цьому в'язкість рідини зменшується і підвищується парціальний тиск водяних парів в деревині

Збільшення швидкості руху сушильного агенту не впливає безпосередньо на підвищення інтенсивності випаровування вологи в деревині; але збільшення швидкості циркуляції сушильного агенту через матеріал в сушильних камерах приводить до зменшення часу сушіння головним чином за рахунок більш рівномірного висушування матеріалу в різних точках штабелю.

Чим щільніша висушувана деревина та чим менше в ній з'єднувальних пор, тим повільніше відбувається переміщення вологи в деревині. Відомо, наприклад, що дуб висихає в 4 - 5 разів повільніше сосни.

При переміщенні вологи з товщини матеріалу назовні основний її потік спрямований по найкоротшій відстані до поверхні. На мал.1-1.а видно, що для найбільш віддалених від поверхні центральних шарів (точка А) ця відстань дорівнює половині товщини матеріалу.

Розподіл вологості по товщині матеріалу та величина перепаду вологості змінюються на протязі сушіння. На рис. 1.1. показаний наближений характер цього розподілу на різних стадіях процесу.

Перед сушінням початкова вологість W_0 однакова по всьому січенню. Скоро після початку сушіння вологість в поверхневих шарах стає нижчою точки насичення волокна, в той час як в глибині матеріалу вологість залишається ще без змін. Далі вологість гамується по всьому січенню; біля поверхні вона вже значно нижче, а в середині - ще вище точки насичення волокна.

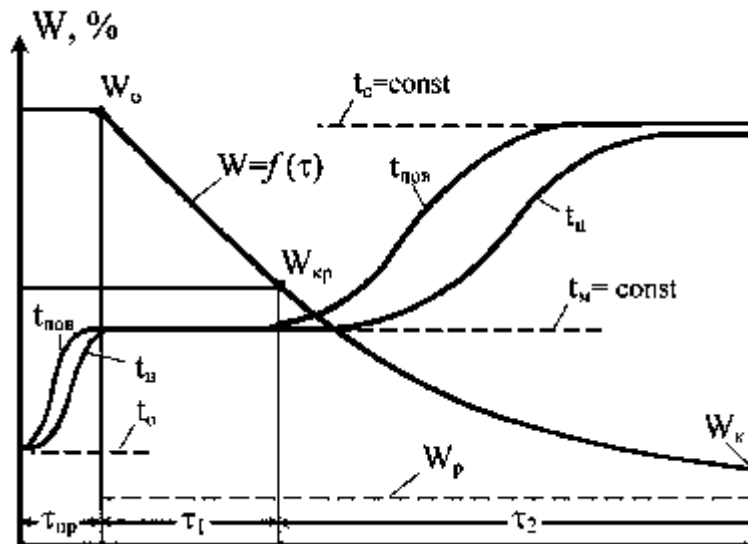


Рис. 1.1. Розподіл вологості по товщині матеріалу та величина перепаду вологості

При продовженні процесу сушіння, вологість середньої зони буде інтенсивно знижуватися і наблизиться до точки насичення волокна $W_{т.н}$ і далі стане нижче її.

В той час як вологість на поверхні в цей період зміниться незначно, наблизившись поволі до рівноважної. На кінцевому етапі сушіння перепад вологості в матеріалі зменшиться і відбудеться вирівнювання її по сиченню.

Перепад вологості по товщині висушуваного матеріалу, особливо на початковій стадії процесу, досягає значної величини - декількох десятків процентів.

Всихання деревини починається з моменту пониження вологості нижче точки насичення волокна. Значить особливо небезпечний для матеріалу період, коли центральні шари мають ще вологість $W_{т.н}$ або вище, а поверхневі шари наближуються до рівноважної вологості.

Згідно досліджень, тривалість періоду сушіння свіжозрубленої соснової деревини в середині сичення до $W_{т.н}$ складає 60-80% від всієї тривалості сушіння (до $W_{н}=8\%$), включаючи початковий прогрів. Чим більший перепад

вологості по товщині деревини ($W_{\text{ц}} - W_{\text{пов}}$), тим інтенсивніший рух вологи з середини до поверхні, тим швидше відбувається сушіння. Але цей перепад не повинен перевищувати межі, оскільки це привело б до більшої різниці в усадці зовнішніх та внутрішніх шарів, і відповідно, до більших внутрішніх напруг та до браку в процесі сушіння.

Як для швидкості сушіння, так і для внутрішніх напруг має значення тільки перепад вологості ΔW від точки насичення волокна (або нижче її) до вологості на поверхні $W_{\text{пов}}$, тобто якщо вологість в середині січення $W_{\text{ц}}$ більше $W_{\text{т.н}}$, потрібно приймати в розрахунок тільки величину перепаду $\Delta W = W_{\text{т.н}} - W_{\text{ц}}$, якщо $W_{\text{ц}}$ менше $W_{\text{т.н}}$, перепад визначають по фактичній різниці.

Зменшення вологості висушуваного матеріалу при сушінні в різних стадіях процесу відбувається з різною швидкістю. Швидкість сушіння визначається як перша похідна від вологості по часу. Вона виражається в процентах за годину.

Період прогріву. В період прогріву випаровування волога майже відсутня, і тому швидкість сушіння в цей період дорівнює нулю.

Період постійної швидкості сушіння. В період постійної швидкості сушіння вільна волога випаровується з поверхні деревини. На цьому етапі процесу вологість поверхні близька до точки насичення волокна. Вільна волога з зовнішніх шарів деревини поступає до поверхні в достатній кількості, щоб підтримати її вологість на необхідному рівні. Цей період сушіння продовжується до досягнення матеріалом деякої вологості $W_{\text{кр}}$, що називається критичною.

Критична вологість матеріалу (середня по січенню) завжди більша вологості точки насичення волокна. Чим більша нерівномірність вологості по січенню матеріалу, тим більше значення $W_{\text{кр}}$. Інакше, чим більша швидкість сушіння та чим товстіший висушуваний матеріал, тим ближче $W_{\text{кр}}$ підходить до $W_{\text{поч}}$ і тим менший відрізок часу займає період постійної швидкості сушіння по відношенню до тривалості всього процесу сушіння.

Період падаючої швидкості сушіння. Цей період - основний при сушінні деревини. Вологість поверхні в цьому періоді нижче точки насичення. Волога не встигає переміщуватися з внутрішніх шарів до поверхні в кількості, рівній можливій інтенсивності випаровування. Швидкість випаровування вологи на цьому періоді постійно зменшується і в кінці сушіння дорівнює нулю, оскільки при досягненні матеріалом рівноважної вологості випаровування припиняється.

За період початкового прогріву деревина нагрівається до температури середовища-пари $t_{п}$, яка звичайно задається на $8-10^{\circ}\text{C}$ більше температури початкового ступеню режиму сушіння.

Температура поверхні деревини $t_{п.д}$ дуже швидко досягає до $t_{п}$, а температура в центрі $t_{ц}$ стає близькою до температури середовища $t_{с}$ тільки до кінця прогріву.

Далі в камері відбувається перехід на режим $t_{с}$ і $t_{н}$. Температура поверхні деревини $t_{п.д}$ змінюється згідно температури мокрого термометра період постійної швидкості сушіння, тобто при вологості поверхні, близькою $W_{т.н}$. Температура центру матеріалу знижується значно повільніше та довго залишається на проміжному значенні, між $t_{с}$ і $t_{н}$. Температура поверхні значно раніше, ніж температура центру досягне $t_{с}$; температура в центрі матеріалу наближається до $t_{с}$ тільки до кінця сушіння.

1.2 Принципи задання режимів сушіння

Виходячи з аналізу внутрішніх напружень в деревині та недопущення розтріскування матеріалу, розглянемо коротко принципи побудови режимів сушки.

1) Перед сушкою деревини потрібно здійснити прогрів матеріалу, щоб не було затримки при сушінні в просуванні вологи з товщини матеріалу, як правило, деревину прогрівають навіть до більш високої температури, ніж при сушці, щоб стимулювати вихід вологи з внутрішніх шарів.

2) В перший період сушіння не можна допускати занадто великого зниження поверхневої вологості деревини, тому в перший період сушіння необхідно витримувати в камері порівняно високу відносну вологість агенту сушіння.

3) В міру протікання процесу сушіння відносна вологість агенту сушіння зменшується і до кінця сушіння знижується до 30%, що необхідно для висушування матеріалу до низької вологості.

4) Температура середовища в камері, навпаки, збільшується від початку сушіння до її закінчення. Це необхідно для того, щоб прискорити процес в другій половині та в кінці, оскільки швидкість сушіння зменшується до її закінчення в декілька разів.

Крім того, в міру висихання матеріал стає більш міцнішим, тому можуть бути допущені великі напруження в ньому. І на кінець, більш висока температура пластифікує матеріал, а це якраз вимагається в другій половині, щоб відбувалося стиснення (зменшення розмірів) поверхневих шарів.

Після сушіння часто виникають значні деформації матеріалу. Це результат внутрішніх напружень в деревині та перепаду вологості по товщині, що має місце після сушіння.

Для ліквідації такого дефекту, що приводить до повного браку деталі, або втрати 10-20% деревини на занадто великі припуски при механічній обробці, необхідно перед вивантаженням з камери піддавати матеріал кінцевій тепловологообробці.

1.3. Використання камер періодичної дії для сушіння деревини

Теоретичні рівняння для розрахунку тривалості сушіння складні у виробничих умовах, тому було розроблено методи визначення тривалості за допомогою таблиць та коефіцієнтів. Ці методи рекомендуються для розрахунку

продуктивності камер, розрахунку календарних планів роботи сушильних цехів, тощо.

Знаючи повний час витримки при сушінні, можна визначити приблизну тривалість сушіння по етапах (ступенях режиму), користуючись таблицею коефіцієнтів по часу на кожний етап сушіння. Знаючи тривалість сушіння по ступенях режиму, можливо скласти робочий режим, тобто розклад t і f в камері по часу

Таблиця 1.1. Коефіцієнт по часу в залежності від зменшення вологості матеріалу

Зменшення вологи від...до..., %	60-40	40-30	30-20	20-15	15-10	60-12
Коефіцієнт по часу	0.252	0.178	0.251	0.179	0.140	1.000

При початковій вологості більше 60% додається коефіцієнт по часу рівний 0,1 на кожні 10 % вологості. При зменшенні кінцевої вологості з 12 до 10% додається коефіцієнт 0,11, а при зменшенні з 10 до 8% - додаються 0,14.

1.4. Пуск камери та початкова обробка

Перед завантаженням матеріалу камеру необхідно прогріти, щоб запобігти конденсації вологи на обладнанні. Якщо камера не охолола після розвантаження. пару в калорифер потрібно пускати за 20-30 хв до завантаження матеріалу.

Пару пускають в калорифер, поступово відкриваючи вентиль. Якщо вентиль відкрили зразу, відбудеться водяний удар і труби можуть лопнути. В пусковий період та під час прогріву матеріалу всі приточно-витяжні канали камери повинні бути щільно закриті. Після завантаження матеріалу в камеру

відкривають вентиль на зволожувальній трубі. Поки матеріал повністю не прогріється, волога з нього не повинна випаровуватися. Передчасний початок сушіння приводить тільки до пересихання зовнішніх шарів деревини та збільшення небезпеки розтріскування, не до збільшення швидкості сушіння. Тому, якщо вологість матеріалу більше 25%, його початкове прогрівання виконується при 100%-ій вологості повітря. В першу годину прогрівання, коли матеріал значно холодніший від повітря в камері, відбувається процес конденсації парів води на матеріалі. Пуск пари через зволожуючі труби прискорює процес нагріву, але потрібно спостерігати за тим, щоб матеріал не дуже сильно зволожувався.

При вологості завантажувальної деревини нижче 25% прогрів виконується повітрям, стан якого відповідає середній вологості матеріалу плюс 3-4%. Обробка підсушеного матеріалу насиченим повітрям ($\phi = 100\%$) може призвести до збільшення внутрішніх напружень та появи внутрішніх тріщин.

Температуру середовища при прогріві підтримують на 8-10% вище температури першої ступені режиму. Вентиляторні установки включаються з самого початку прогріву, зразу після закриття дверей камери.

Тривалість початкового прогріву в основному залежить від різниці температур до і після прогріву деревини, від породи, товщини та вологості деревини та від рівномірності циркуляції агенту сушіння по штабелю.

Для сучасних камер тривалість прогріву матеріалу з моменту досягнення заданої температури в камері літом може бути прийнята рівною 1-1,5 год., взимку 1.5-2 год., на кожний сантиметр товщини матеріалу. Від початкової обробки матеріалу до першої ступені режиму сушіння потрібно переходити поступово, не менше ніж на протязі 2 год.

1.5. Проведення процесу сушіння

Температура повітря в камері підтримується з точністю $\pm 2^{\circ}\text{C}$, а при сушінні матеріалу менш відповідального призначення (3-а категорія) з точністю $\pm 3^{\circ}\text{C}$ від заданої. Відхилення психрометричної різниці від заданої допускається в межах $\pm 0,1$ та $\pm 0,2$ її величини.

При появі в матеріалі значних напружень та небезпеки розтріскування сушіння тимчасово припиняють і матеріал прогрівають. Температуру повітря під час проміжного прогріву встановлюють на $6-10^{\circ}\text{C}$ вище температури, що підтримувалася в камері перед прогрівом. Рівноважна вологість повітря повинна бути на 2-3% вище, ніж середня вологість матеріалу. Тривалість проміжного прогріву матеріалу визначається дослідним шляхом.

Після кінцевої тепловологообробки підсушують поверхневі шари незалежно від товщини матеріалу на протязі 1-2 год. при режимі, що був до кінцевої обробки Матеріал охолоджують в камері до $30-40^{\circ}\text{C}$ при відкритих приточно-витяжних каналах, а потім при напіввідкритих дверях на протязі 1 год. на кожний сантиметр товщини.

Технічні дані камери СПЛК-2.

Внутрішні розміри; м;

довжина 10,8

ширина 6,6

висота 2,9

Об'єм камери, м^3 186,5

Розмір завантажувальних штабелів; м;

довжина 6,5

ширина 1,8

висота 2.6

Габаритний об'єм штабеля, м^3 30.4

Вмістимість, м^3 ум.. пиломатеріалів 28,8

Розрахункова річна продуктивність, м^3 ум. матер. 2860

Тип калорифера	ребристий
Поверхня нагріву, м ³	352
Швидкість циркуляції агенту сушіння, м/с	0,3 0,5
Середньогодинна витрата електроенергії, кВт	14,7
Тиск пари при вводі в камеру; мПа	0,3-0,5
Максимальна витрата пари при режимі:	
форсованому	420
нормальному	360
Середня витрата пари; кг/год	350
Тип вентилятора	У12, №12
Частота обертання, хв ⁻¹	965
Продуктивність; тис, м ³ /год	45

1.6 Розрахунок витрати теплоти

В різному технологічному процесі нагрівання або сушіння матеріалу повна витрата тепла Q складається з корисних затрат тепла $Q_{кор}$ та неминучих теплових втрат $Q_{вт}$

$$Q = Q_{кор} + Q_{вт}$$

В нагрівальних установках $Q_{кор}$ - це витрата тепла безпосередньо на нагрівання деревини. В сушильних установках за корисне тепло слід вважати тепло, що витрачається на випаровування вологи. Повна витрата тепла Q включає в себе всі затрати тепла установкою.

При сушінні в середовищі вологого повітря питома витрата тепла на випаровування вологи

$$q_{вип} = \frac{I_2 - I_0}{d_2 - d_0} 1000 - t_m \text{ кДж / кг}$$

де I_2 - тепловміст відпрацьованого повітря, що викидається з сушильної камери, кДж/кг;

I_0 - тепловміст свіжого повітря, що входить в сушильну камеру, кДж/кг;

d_2 - вологовміст відпрацьованого повітря, г/кг;

d_0 - вологовміст свіжого повітря, г/кг;

t_m - температура, до якої нагрівається деревина перед сушінням.

Для наближених розрахунків $q_{\text{вип}}$ була визначена по графіку І.В. Кречетова, згідно якого $q_{\text{вип}} = 3150$ кДж/кг.

Витрата тепла на нагрівання деревини, що має температуру $t_0 \geq 0$, складає

$$Q_{\text{нагр}} = y(0.38 + W/100)(t_{\text{кам}} - t_0) * 4.19 \text{кДж} / \text{м}^3$$

де: y - об'ємна вага деревини заданої породи та вологості, кг/м³;

W - початкова вологість висушуваного матеріалу, %;

$t_{\text{кам}}$ - температура повітря в камері, °С;

t_0 - температура деревини, °С;

$$Q_{\text{нагр}} = 570(0.38 + 40/100)(76 - 7.0) * 4.19 = 128540 \text{кДж} / \text{м}^3$$

Витрата теплоти на нагрів, віднесеній на 1кг. випаруваної вологи:

$$q_{\text{нагр}} = Q_{\text{нагр}} / M_{1\text{м}^3} \text{кДж} / \text{кг}$$

$$M_{1\text{м}^3} = y(W_{\text{поч}} - W_{\text{кін}}) / 100 = 570(40 - 8) / 100 = 182.4 \text{кг} / \text{м}^3$$

$$q_{\text{нагр}} = 128540 / 182.4 = 705 \text{кДж} / \text{кг}$$

Розрахунок тепловтрат через стінки камери:

$$Q_{\text{втр}} = Fk(t_{\text{кам}} - t_0) * 4.19 \text{кДж} / \text{кг} ,$$

де F – площа стінок, $F=172\text{м}^2$;

k – коефіцієнт теплопередачі, $k=0,6\text{кДж}/(\text{м}^2 * \text{год} * ^\circ\text{С})$;

$$Q_{втр} = 172 * 0.6 * (76 - 7) * 4.19 = 30000 \text{кДж} / \text{кг}$$

Тепловтрати через стінки на 1 кг випарованої вологи складуть:

$$q_{втр} = Q_{втр} / M_{ср.год}, \text{кДж} / \text{кг}$$

$$\text{де } M_{ср.год} = E * M_{1м^3} / r_{вл.суш} \text{кг} / \text{год}$$

де E – ємність камери в м³ деревини;

$r_{вл.суш}$ – тривалість чистого сушіння, год.

$$M_{ср.год} = 30 * 182.4 / 68 = 80.5 \text{кг} / \text{год};$$

$$q_{втр} = 30000 / 80.5 = 372.6 \text{кДж} / \text{год}.$$

Загальна втрата теплоти на сушіння (на 1 кг випаровуваної вологи)

$$q_{сум} = (q_{вип} + q_{пар} + q_{втр}) * C$$

$$q_{сум} = (3150 + 705 + 372) * 1.2 = 5073 \text{кДж} / \text{кг}$$

Табл.1.2. Таблиця теплового балансу на 1000 кг випаровуваної вологи

Прихід			Витрата		
Статті приходу	кДж	%	Статті витрати	кДж	%
Тепловіддача	5073	100,0	1.Нагрів матеріалу	705	13.9
			2.Випаровування вологи	3150	62.1
			3.Тепловтрати через стінки камери	372.6	7.3
			4.Витрати теплоти на підігрів свіжого повітря та на кінцеву тепло обробку матеріалу	845.4	16.7
			Всього	5073	100.0

Матеріал – буковий паркет розміром 30*20*2см.

Початкова вологість - 40%, кінцева вологість - 8%.

Орієнтовний час сушіння - 68 год.

Режим сушіння – 5.

Повний процес сушіння включає в себе наступні операції:

1. Пуск камери - подача пари в калорифер за 30 хв. до завантаження матеріалу.
2. Прогрів матеріалу: $t=76^{\circ}\text{C}$, $\varphi=90\%$, тривалість прогріву - 3 год.
- 3 Сушіння матеріалу - згідно режиму (табл. 1.3).

Таблиця 1.3. Нормативний режим №5 сушіння пиломатеріалів.

Вологість дерева, %	Температура в камері.	Вологість в камері, %
Вище 30	68	72
15-30	75	54
8-15	79	31

3. Кінцева тепловологообробка; $t=90^{\circ}\text{C}$, $\varphi=15\%$,

4. Тривалість обробки - 12 год.

5. Кінцева підсушка $t=79^{\circ}\text{C}$, $\varphi=71\%$, тривалість підсушки – 1 год.

6. Зупинка камери: виключають пару та зупиняють вентилятор, відкривають приточно – витяжну вентиляцію.

Значення основних параметрів технологічного процесу сушіння деревини заносимо в технологічну карту, яку створюємо у вигляді таблиці 1.4.

Таблиця 1.4. Технологічна карта.

№ п/п	Назва параметру	Значення параметру	Одиниці вимірювання	Допустимі межі відхилення	Примітка
1	Температура в камері	69-80	$^{\circ}\text{C}$	$\pm 2^{\circ}\text{C}$	

2	Вологість в камері	15-90	%	±2%	
3	Вологість матеріалу	8-60	%	±1%	
4	Витрата пари	360	кг/год	±70кг/год	Для однієї камери
5	Тиск пари	0.49	мПа	±5%	
6	Температура пари	158	°С	±2%	

2 ПРОЕКТНА ЧАСТИНА

2.1 Аналіз технологічного процесу, як об'єкту керування

Сушіння деревини в камерах періодичної дії - складний технологічний процес, для якого характерні наступні особливості; взаємозв'язок між багатьма параметрами та часові збурення, що не піддаються врахуванню. Модель такого об'єкту можна охарактеризувати наступними параметрами.

1. Група вхідних параметрів X_1 , що об'єднує контрольовані технологічні параметри процесу, наприклад кількість та вид висушеного матеріалу (порода та розмір пиломатеріалів, їх початкова вологість).

2. Група неконтрольованих вхідних параметрів X_2 що характеризують збурюючу дію таких факторів, як зміна навколишнього середовища, старіння обладнання, неоднорідність матеріалу, тощо.

3. Група управляючих факторів Y , що характеризують впливи на підтримання заданого режиму, наприклад кількість тепла, швидкість циркуляції агенту сушіння.

4. Група вихідних параметрів Q , що характеризують якість висушеного матеріалу, наприклад задана кінцева вологість при визначеній зміні вологості по січенню пиломатеріалу та залишкові внутрішні напруження.

5. Група вихідних параметрів E , що характеризують економічну ефективність об'єкту регулювання, а саме: найменшу тривалість процесу сушіння при збереженні якості висушеного матеріалу та ккд сушильної установки.

Режим задається значеннями параметрів сушильного агента t_3 , і ϕ_3 які підтримуються постійними на даному етапі процесу сушіння. Перенастроювання розмірів виконується вручну задавачем.

Регулювання температури та вологості по схемі, виконується як незв'язане стабілізуюче регулювання та відбувається по окремих каналах, хоча ці величини і взаємозв'язані. Значення t і ϕ повітря в камері порівнюються із

заданими величинами t_3 і φ_3 . Сигнали про відхилення параметрів від заданих подаються на регулюючі органи РОТ і РОВ подачі пари в калорифер та в зволожувальну трубу.

Основним недоліком вище розглядуваної схеми регулювання є її розімкнутість що характеризують стан висушеної деревини (зокрема, вологість).

2.2 Обґрунтування вибору функціональної схеми автоматизації

На рис. 2.1 та 2.2 представлена функціональної схеми автоматизації технологічного процесу сушіння деревини. При цьому, процесом сушіння керує дистанційний вологомір (поз. 3-1, 3-2, 1-Р), який змінює по заданому закону залежно від характеристик деревини завдання регуляторам вологості та температури висушувального агрегату. Тензометричні аналогові давачі (поз. 3-1) використовуються для вимірювання маси деревини під час висушування. Поточна вологість пиломатеріалів в даній системі визначається по формулі:

$$W_0 = \frac{M_T - M_C}{M_C} * 100\%$$

де M_m - маса штабелю пиломатеріалів в момент визначення текучої вологості;

M_c - маса штабелю в абсолютно сухому стані.

Вхідним сигналом регулятора температури є сигнал з термометра спорового (поз, 1-1), встановленого в камері, вихідним є імпульсний сигнал для керування виконавчим механізмом, встановленим на паропроводі калорифера (поз. 1-6),

Вхідним сигналом регулятора вологості є аналоговий сигнал з вологоміра сушіння (поз, 2-1). Вихідними сигналами є дискретні сигнали для керування виконавчим механізмами, встановленими на паропроводі зволожуючого пристрою (поз. 2-6) та вентиляцією (поз. 3-5).

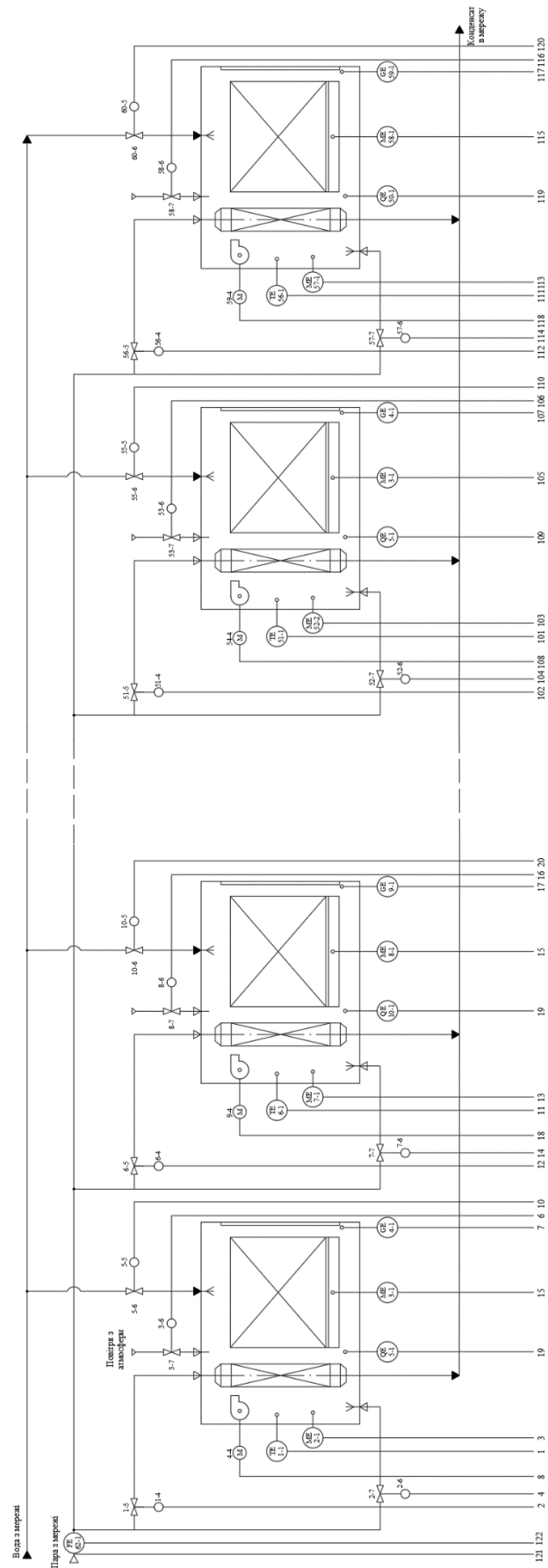


Рис. 2.1. Функціональної схеми автоматизації технологічного процесу сушіння деревини

№ п/п	Назва	Матеріал	К-ть	Вартість
1	Кабель мідний	КВВГ 4*1,5	н	125
2	Кабель силовий	АВТГ 4*2,5	н	24
3	Товща сталева	4*12	н	24
4	Металопlast	4*20	н	20
5	Виточиль	15 мм 54 мм 6,4*13 мм	шт	5

Параметр	Температура	Вологість	Вологість	Вологість	Положення воріт	Захищеність	Вигрота
Середовище	повітря	повітря	деревина	деревина	-	повітря	пара
Місце встановлення вбудованого пристрою	Сушильна камера	Сушильна камера	Сушильна камера	Сушильна камера	Сушильна камера	Сушильна камера	трубопроводі подачі пари
Пов'язані між собою пристрої	TK4-3112-60	TK4-3112-60	TK4-3112-60	TK4-3112-60	TK4-3112-60	TK4-3112-60	TK4-3112-60
Поміта по сегментації	1-1	2-1	3-1	4-1	5-1	72-1	

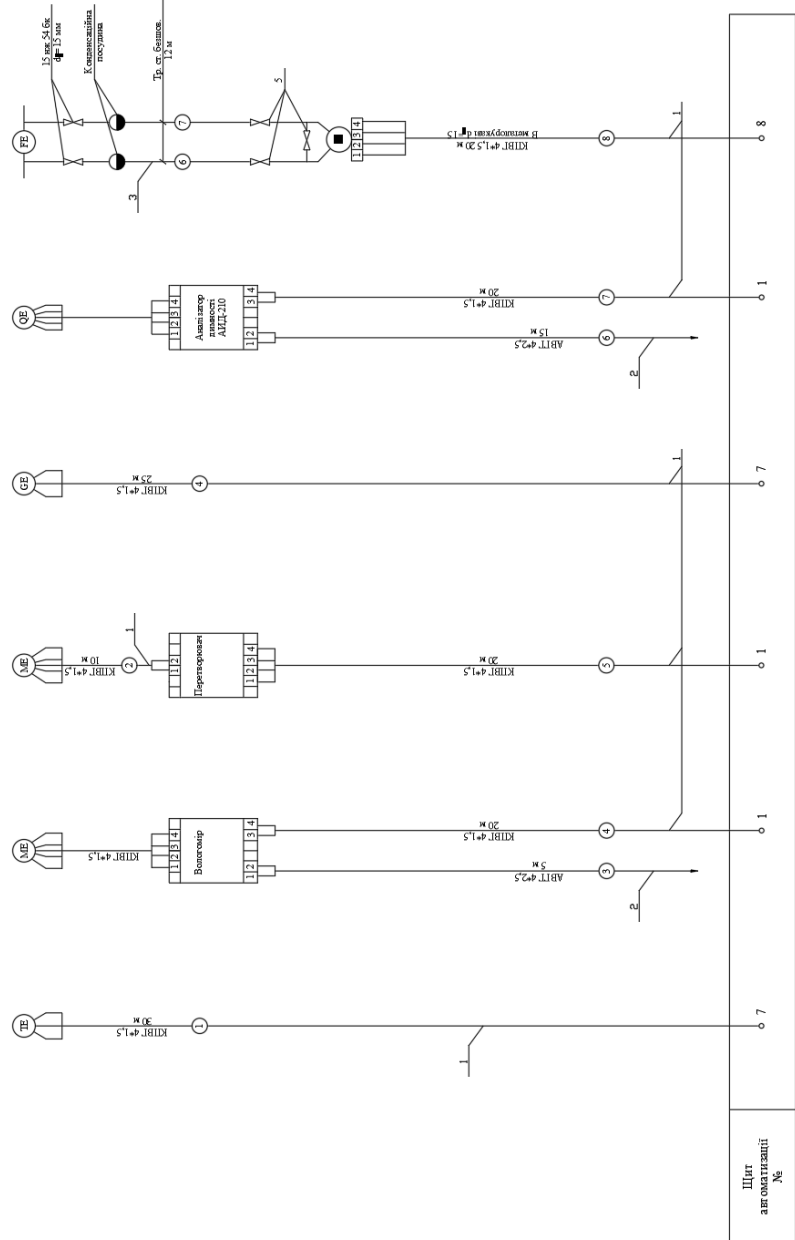


Рис. 2.3. Схема зовнішніх трубних проводок

При включеному датчику положення воріт (тобто при відкритих завантажувальних воротах) запуск системи управління неможливий. При спрацюванні цього датчика (поз. 4-1) під час технологічного процесу вентилятор зупиняється, паропровід калорифера та зволожувального пристрою перекриваються.

Канал пожежогасіння задіяний в разі наявності диму в камері, що фіксується датчиком наявності диму (поз. 5-1). При наявності диму в камері перекривається паропровід калорифера, відключається вентилятор, та включається система пожежогасіння та відповідна сигнальна лампа на щиті КВП.

2.3 Обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації

Основне завдання системи управління процесом сушіння - точне підтримання оптимального (стандартного) режиму.

В якості критеріїв, що враховувались для вибору управляючого пристрою системи керування були його вартість, надійність, можливість наступного нарощування системи та програмної зміни її архітектури, можливість підключення управляючого обчислювального комплексу для створення таким чином верхнього рівня АСУ групи сушильних камер.

Всім переліченим вище вимогам відповідає мікропроцесорний контролер Реміконт Р-130. В комплекті з ним можуть використовуватися цифрові та аналогові датчики, підключені через відповідні нормуючі перетворювачі. Виконавчі механізми, що управляються реміконтом, можуть бути як аналоговими, так і імпульсними або дискретними.

Суттєве значення для наступного розвитку системи управління має передбачена в Р-130 можливість працювати як в якості самостійного управляючого та регулюючого пристрою, так і на нижньому рівні розподіленої АСУТП, використовуючи зв'язок з обчислювальними пристроями верхнього рівня через канал послідовного зв'язку з інтерфейсом ІРПС.

В Р-130 також передбачено формування програмним шляхом управляючих функцій в часі або по збуренню, динамічних ланок, логічних структур, комутуючих елементів, тощо. Крім того, число та характер вхідних та вихідних каналів Р-130 можна вибирати відповідно до використовуваної структурної системи управління лісосушильної камери.

При розробці АСР була використана регулююча модель Р-130, що дозволяє реалізувати до 4-х схем регулювання, кожна з яких може бути як одноконтурною, так і каскадною. Модель містить 99 алгоблоків з можливістю довільного їх заповнення будь-якими алгоритмами і конфігурування блоків між собою та входами-виходами контролера.

Бібліотека Р-130 має 74 зашитих в ПЗП алгоритмів, які виконують функції перервної і дискретної обробки сигналів. Крім того, регулююча модель виконує додаткові функції;

- ручне встановлення або автоматична корекція параметрів настроювання алгоритмів;
- безударну зміну режимів керування;
- вибіркоче оперативне керування і контроль за контурами регулювання за допомогою 12 клавіш і 2-х - 4-х розрядних цифрових індикаторів, шкального індикатора і набору світлодіодів;
- запис інформації в ПЗП з ультрафіолетовим стиранням;
- самодіагностика, сигналізація і індикація несправностей (відмова апаратури. вихід сигналів за допустимі межі, короткі замикання в навантаженні порушення обміну інформації в локальній мережі).

В БК-2І входять:

основна частина:

- МКП - модуль контролю і програмування;
- ПРЦ - модуль процесора,
- МСМ - модуль стабільної напруги;

змінна частина;

Блок контролера має 2 посадочні місця для зв'язку з об'єктом; ПЗО групи А і В. ПЗО є Трьох модифікацій:

- МАС - модуль аналогових сигналів;
- МДА - модуль аналогових і дискретних сигналів;
- МСД - модуль дискретних сигналів.

В роботі використана така конфігурація блоку контролера:

- ПЗО гр. А - 8 аналогових входів, 4 дискретні виходи;
- ПЗО гр.Б - 4 дискретні входи, 12 дискретних виходів.

Як засоби зв'язку з об'ктом використовуються такі блоки (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1. Функції блоків

Блоки	Функції блоків
Підсилювач для термоперетворювачів	1. Перетворює сигнал термоперетворювачів опору або інших резистивних здавачів в струмовий
опору БУС–20. Має 2 незалежних канали для роботи з 2–ма термоперетворювачами опору по 3-провідній схемі підключення.	сигнал 0-5 мА. 2.Забезпечує живлення здавачів стабілізованим постійним струмом. 3.Забезпечує зміщення 0 вхідного сигналу і розширення діапазону змін вхідного сигналу.
Блок перемикання БПР-20. Обмотки реле підключаються до дискретних виходів блока контролера, вони є гальванічно зв'язані між собою але кожний з перехідних контактів реле гальванічно ізольований від інших кіл.	Має 8 слабострумових реле, контакти яких є перекидними і використовуються з метою переключення захисту, сигналізації, блокування і т.д. Кожне реле може керуватися незалежно.

Клемно-блочний з'єднувач КБС-21. Відрізок кабелю з одного кінця якого є вилка роз'єднання РП-15-9, а з другого – клемна колодка на 8 клем під гвинт.	Використовується для підключення кабелю під гвинт до блоків, які мають роз'єднання РП-15-9.
Клемно блочний з'єднувач КБС-22. Відрізок кабелю, з одного кінця є РП-15-23, а з другого – роз'ємна колодка на 24 виводи.	Аналогічна функція до попередньої, тільки має блоки РП-15-23.
Клемно блочний з'єднувач КБС-23. В колодці є вмонтовані нормуючі резистори – відмінність від КБС-22.	Для підключення під гвинт входних і вихідних аналогових кіл блока контролера.

Перехід від фізичних схем структури до уявних називається уявною структурою. Базовим елементом у віртуальній структурі є алгоблок.

Алгоритми можна використовувати декілька разів. Алгоритм "ОКО" розміщується тільки в перших 4-х алгоблоках. Далі йде довільне програмування, Позначення на схемі:

Х - аналоговий сигнал на вході в алгоритм.

У- аналоговий сигнал на виході з алгоритму.

С - дискретний сигнал на вході в алгоритм.

Д - дискретний сигнал на виході з алгоритму.

Найбільш часто вживані алгоблоки зведені в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2. Таблиця кодування

Код алгоритму	Назва	Модифікатор	Масштаб часу
1	2	3	4
01	ОКО	00-15	-----
05	ВИН - ввід інтерфейсний	00-21	-----
06	ИНВ - інтерфейсний вивід	00-30	-----
07	ВАА – ввід аналоговий групи А	00-08	-----
08	ВАБ – ввід аналоговий групи Б	00-08	-----
09	ВДА – ввід дискретний групи А	00-16	-----
10	ВДБ – ввід дискретний групи Б	00-16	-----
11	АВА – аналоговий вихід групи А	00-02	-----
12	ВАБ – аналоговий вихід групи Б	00-02	-----
13	ДВА – дискретний вихід групи А	00-16	-----
14	ДВБ – дискретний вихід групи Б	00-16	-----
15	ИВА – імпульсний вихід групи А	00-04	-----
16	ИВБ – імпульсний вихід групи Б	00-04	-----
20	РАН – регулювання аналогове	-----	00,01
21	РИМ – регулювання імпульсне	-----	00,01
24	ЗДН – завдання	00-40	00,01
26	РУЧ – ручне керування	-----	-----
43	СМА – суматор масштабування	00-20	-----
57	ПЕР – перемикач	00-49	-----

59	ПОР – пороговий орган	00-20	-----
60	НОР – нуль-орган	00-10	-----
70	ЛОИ – логічне І	00-20	-----
71	МИИ – багатовходове І	00-99	-----
72	ИЛИ – логічне АБО	00-20	-----
73	МИЛ – багатовходове АБО	00-99	-----
74	ИИЛ – виключаючи АБО	00-20	-----
76	ТРИ - тригер	00-20	-----

2.4 Опис програми керування контролером

Згідно технології сушіння деревини, повний процес сушіння деревини складається з декількох етапів, а саме: прогріву матеріалу, безпосередньо сушіння та кінцевої тепловологообробки. Режими сушіння (температура та вологість) змінюються відповідно до ступеня висихання деревини.

На рис. 2.4 показано алгоритм функціонування програми контролера Р-130. Сигнал з давача вологості деревини через перетворювач подається на алгоритм ВАА (блок №21). Цей алгоритм використовується для зв'язку функціональних алгоритмів з апаратними засобами аналогового входу. Далі сигнал виходу ВАА подається на алгоритм НОР(22). Цей алгоритм разом з логічними блоками "І" (24,25) та програмними задатчиками (23,35,36,37) служить для формування завдання регулятору температури через блок НОР(26) та вологості через блок НОР(27). Програмні задатчики використовуються для завдання режиму прогріву матеріалу (25,35) та кінцевої тепловологообробки після закінчення процесу сушіння (36,37).

Регулятор температури побудований на основі алгоритмів РИМ(08) та ОКО(01). Сигнал з термоперетворювача опорного через нормуючий перетворювач БУС-20 та алгоритм ВАА(05) подається на вхід 02 алгоритму РИМ.

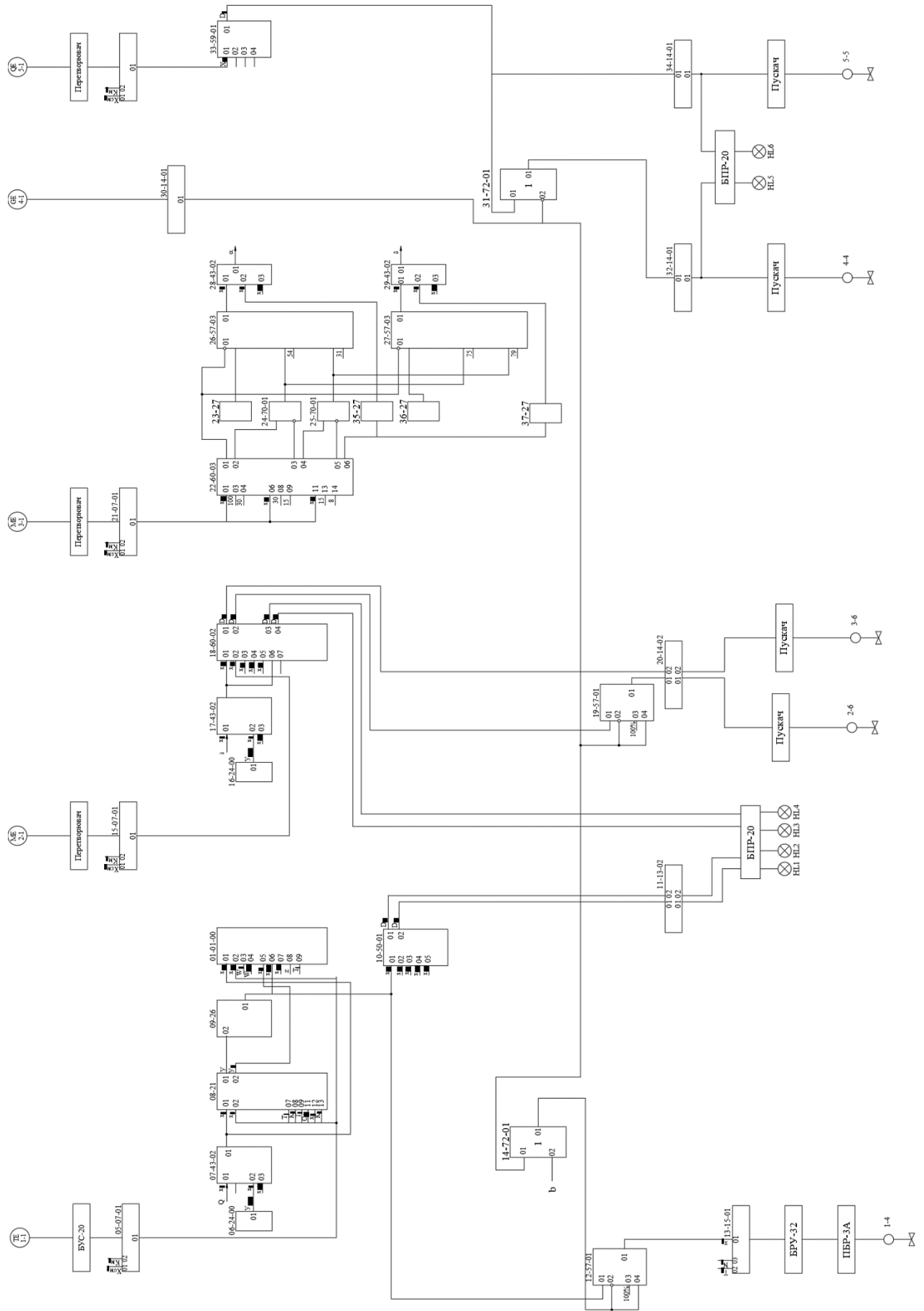


Рис. 2.4. Алгоритм функціонування програми

На вхід 01 цього ж алгоритму подається сигнал заданого значення температури, яке формується в результаті сумування алгоблоком СУМ(07) сигналів від задавача ЗДН(06) та коректуючого сигналу по вологості дерева.

З виходу алгоритму РИМ сигнал подається на алгоритм ПОР(12). Цей алгоритм використовується для закриття регулюючого органу подані пари в калорифер в разі подачі на його вхід дискретного сигналу "1" від давача, що фіксує відкривання воріт камери та у випадку пожежі в камері. Сигнал з виходу ПОР подається на алгоритм ИВА(13). Цей алгоритм має до 4-х каналів зв'язку з виходами контролера.

Кожен канал (використовується один канал) використовує 2 дискретні виходи: "Більше" та "Менше". Ці виходи за допомогою блоку ручного управління БРУ-32 та пускача ПБР-ЗА використовуються для керування виконавчим механізмом (поз.1.4). Алгоритм ОКО(01) застосовується для оперативного контролю регулювання температурою.

Для сигналізації виходу температури за межі підтримуваного значення використовується алгоритм НОР(10), на виході якого формуються дискретні сигнали D11 (температура вище допустимої) та D21 (температура нижче допустимої). Ці сигнали через алгоритм ДВА(11) за допомогою блоку перемикачів БПР-20 керують включеннями сигнальних ламп на табло щита керування.

Регулятор вологості повітря побудований на основі алгоритму НОР(18). Сигнал від датчика вологості в камері через алгоритм ВАА подається на вхід 02 алгоритму НОР. На вхід 01 цього алгоритму подається сигнал заданого значення вологості, який формується сумуванням алгоритмом СУМ(17) сигналів від датчика ЗДН(16) та коректуючого сигналу від вологоміра деревини. Вихідні дискретні сигнали алгоритму через алгоритм ДВБ керують включеннями зволожувача та повітряного шибера. Для сигналізації вологості в камері використовується той же алгоритм НОР(18).

У випадку відкривання воріт працюючої камери сигнал з датчика положення воріт через алгоритм ДВБ використовується для закриття подачі пари в калорифер, закриття зволожувача та зупинки вентилятора.

Для протипожежного захисту використовується давач димності (поз. 5.1), сигнал з якого через алгоритм ВАА(32) подається на алгоритм НОР(33). У разі перевищення допустимого значення задимленості на виході алгоритму НОР з'являється дискретний сигнал, що використовується для відкриття РО подачі води в камеру, зупинки вентилятора, закриття подачі пари в калорифер та сигналізації пожежі.

2.5 Опис електричних схем з'єднань

На рис. 2.5 показана електрична схема міжблочних з'єднань для управління сушильною камерою №1, автоматичне керування решти 11 камер аналогічне.

Основним блоком є блок контролера БК-21-24, до якого через клемно-блочні КБС-22 та КБС-23 підключаються пристрої зв'язку групи А та групи Б відповідно. Живлення до блоку контролера подається через окремий блок живлення БП-2І, який використовується тільки для живлення самого контролера. Ще один блок живлення застосовується для живлення блоків БУС-20, БПР-20 та вологоміра.

Вхідними сигналами групи А є входи 1-2 від термоперетворювача опорного, 3-4 від вологоміра повітря, 5-6 від вологоміра деревини та 7-8 від аналізатора димності. Вихідними сигналами є сигнали 17 "Більше" та 18 "Менше" керування виконавчим механізмом МЕО-К подачі пари в калорифер та сигнали 19-20 сигналізації температури.

Вхідним сигналом групи Б є сигнал давача положення воріт.

Вихідними сигналами є дискретні сигнали 5 - керування приводом зволожувача, 6 - приводом повітряного шибера, 7 - приводом вентилятора, 8 - приводом запірного клапану подачі води та 9-12 сигналізації.

Загальний вигляд щита управління показано на рис. 2.6.

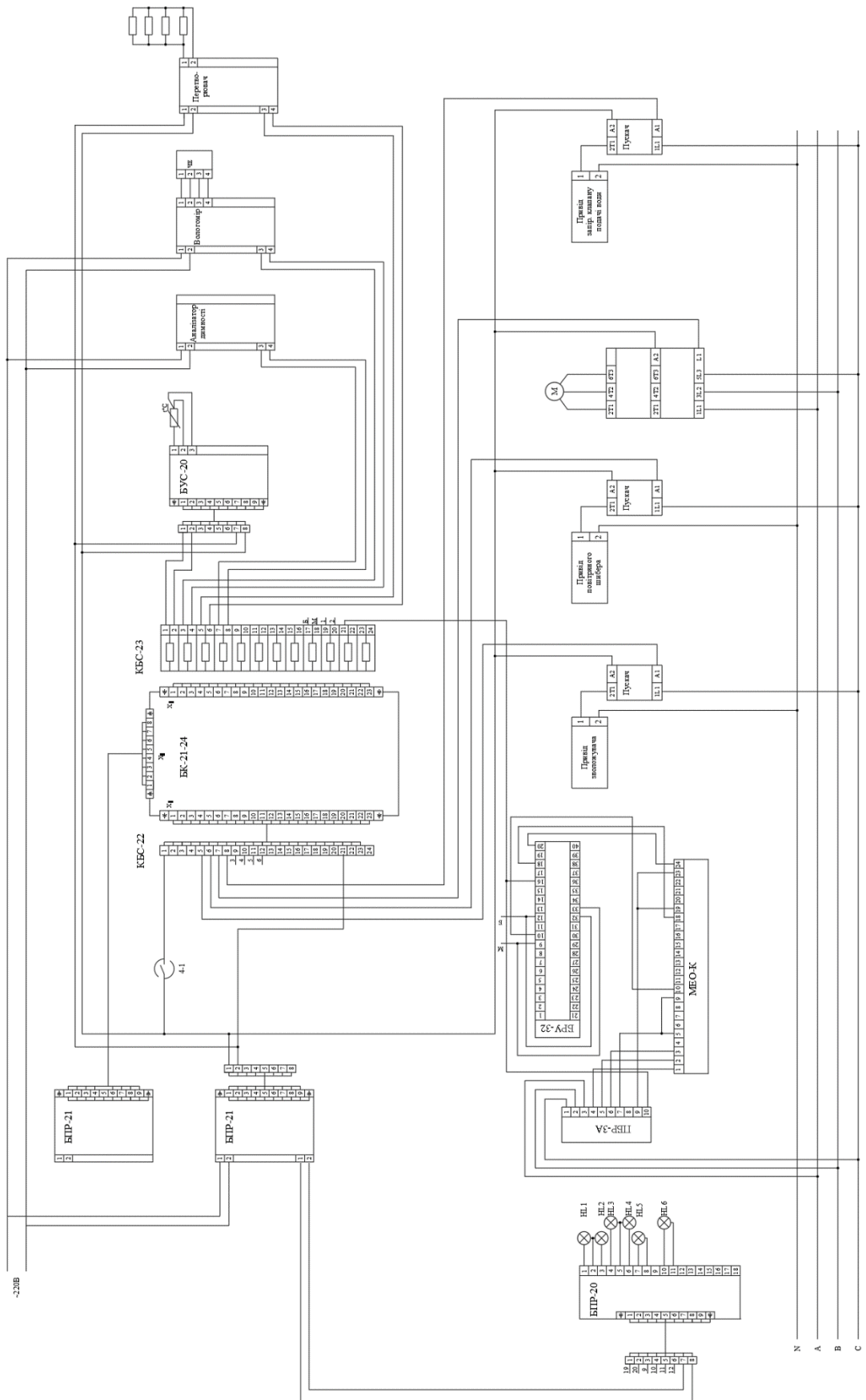
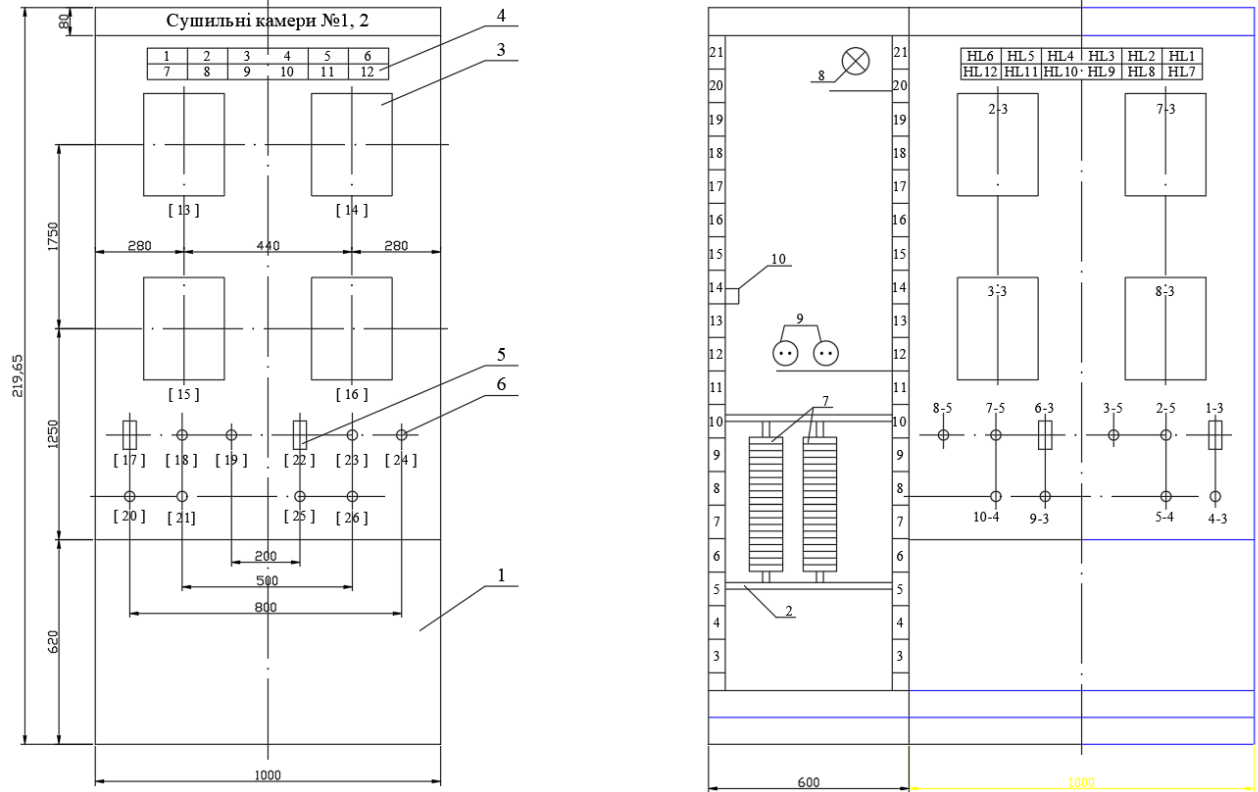


Рис. 2.5. Електрична схема міжблочних з'єднань



Надписи на табло і в рамках

Номер надпису	Текст надпису	К-сть	Номер надпису	Текст надпису	К-сть	Номер надпису	Текст надпису	К-сть
	<u>Табло ТСБ-2</u>		9	Вологість в камері № 2 менше допустимої	1		<u>Рамка 100x25</u>	
1	Температура в камері № 1 більше допустимої	1	10	Вологість в камері № 2 менше допустимої	1	17	Пара в колорифер № 1	1
2	Температура в камері № 1 менше допустимої	1	11	Ворота в камері № 2 відчинено	1	18	Пара в зволожувач № 1	1
3	Вологість в камері № 1 менше допустимої	1	12	Пожежа в камері № 2	1	19	Повітря в камеру № 1	1
4	Вологість в камері № 1 більше допустимої	1		<u>Рамка 200x25</u>		20	Вентилятор № 1	1
5	Ворота в камері № 1 відчинено	1	13	Вологість повітря в камері № 1	1	21	Вода в систему пожежогасіння камери № 1	1
6	Пожежа в камері № 1	1	14	Вологість повітря в камері № 2	1	22	Пара в колорифер №2	1
7	Температура в камері № 2 більше допустимої	1	15	Вологість деревини в камері № 1		23	Пара в зволожувач № 2	1
8	Температура в камері № 2 менше допустимої	1	16	Вологість деревини в камері № 2		24	Повітря в камеру № 2	1
						25	Вентилятор № 2	1
						26	Вода в систему пожежогасіння камери № 2	1

Рис. 2.6. Загальний вигляд щита управління

3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Розрахунок автоматичної системи регулювання

Структурна схема системи автоматичного регулювання (САР) температури показана рис. 3.1

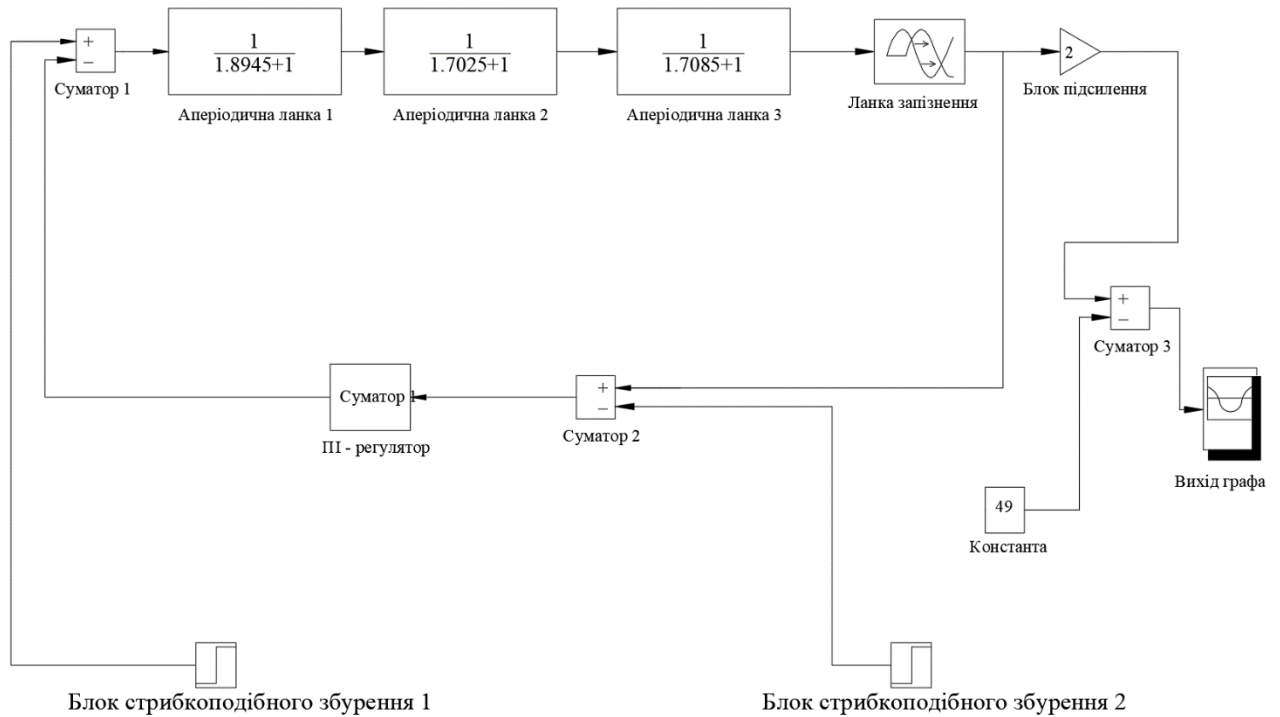


Рис. 3.1. Структурна схема САР температури

На рис. 3.2 зображені передаточні функції системи.

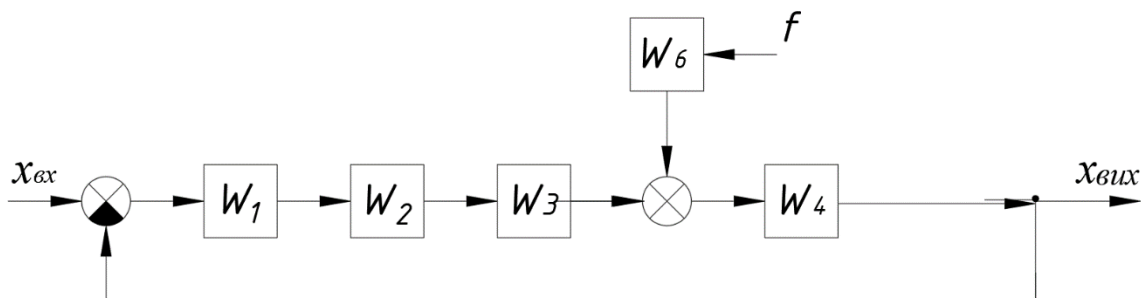


Рис. 3.2. Передаточні функції системи

Дана система складається з 5 ланок:

- $W_1(p) = k_1$ - безінерційна ланка;
- $W_2(p) = k_2$ - безінерційна ланка;
- $W_3(p) = \frac{k_3}{T_3 p + 1}$ - аперіодична ланка I-го порядку;
- $W_4(p) = \frac{k_4}{T_4 p + 1}$ - аперіодична ланка I-го порядку;
- $W_5(p) = k_5(T_4 p + 1)$ - ідеальна аперіодична ланка.

На рис. 3.3 показана структурна схема системи.

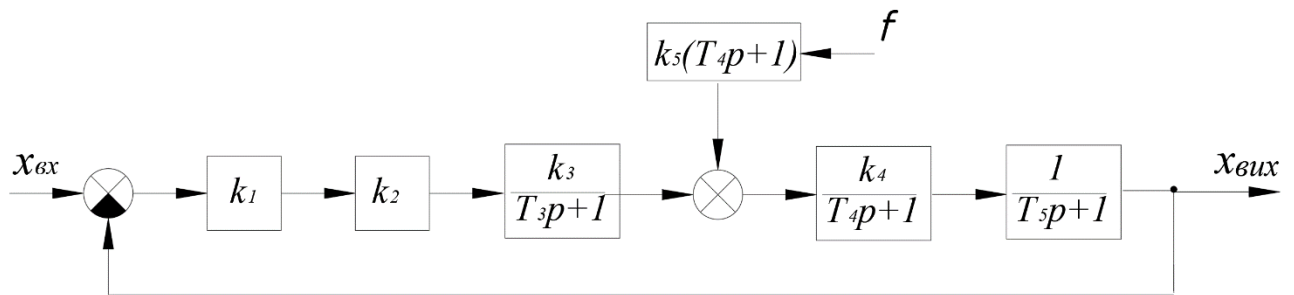


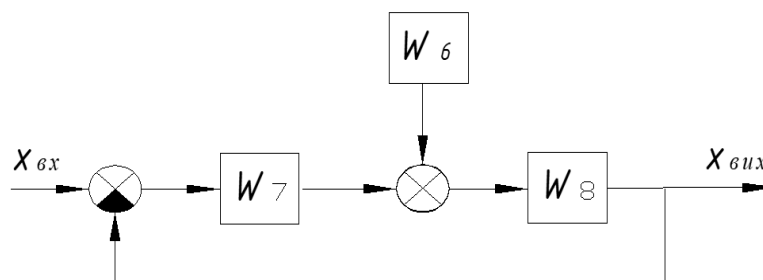
Рис. 3.3. Структурна схема системи

Параметри схеми:

$$k_1 = 0,3; \quad k_2 = 40; \quad k_3 = 0,8; \quad k_4 = 0,7; \quad k_5 = 1,5.$$

$$T_3 = 0,8 \text{ сек}; \quad T_4 = 0,2 \text{ сек}; \quad T_5 = 1,15 \text{ сек}.$$

Для знаходження передаточної функції виконаємо наступні перетворення скориставшись відповідними правилами перетворення та зведення передаточних функцій.



$$W_7 = W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_3(p) = k_1 \cdot k_2 \cdot \frac{k_3}{T_3 p + 1};$$

$$W_8 = W_4(p) \cdot W_5(p) = \frac{k_4}{T_4 p + 1} \cdot \frac{1}{T_5 p + 1}$$

$$W_6 = k_5(T_4 p + 1)$$

Передаточна функція розімкненої системи матимуть вигляд:

$$W_p(p) = W_7(p) \cdot W_8(p) = W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_3(p) \cdot W_4(p) \cdot W_5(p).$$

$$\begin{aligned} W_p(p) &= k_1 \cdot k_2 \cdot \frac{k_3}{T_3 p + 1} \cdot \frac{k_4}{T_4 p + 1} \cdot \frac{1}{T_5 p + 1} = \\ &= \frac{0,3 \cdot 40 \cdot 0,8 \cdot 0,7 \cdot 1}{(0,8 p + 1) \cdot (0,2 p + 1) \cdot (1,15 p + 1)} = \frac{6,72}{0,184 \cdot p^3 + 1,31 \cdot p^2 + 2,15 \cdot p + 1}. \end{aligned}$$

Передаточна функція замкненої системи:

$$W_3(p) = \frac{W_p(p)}{1 + W_p(p)}$$

$$W_3(p) = \frac{6,72}{0,184 \cdot p^3 + 1,31 \cdot p^2 + 2,15 \cdot p + 7,72}.$$

Передаточна функція системи по збуренню f :

$$\begin{aligned} W_f(p) &= \frac{W_4(p) \cdot W_5(p) \cdot W_6(p)}{1 + W_p(p)} = \frac{\frac{k_4}{T_4 p + 1} \cdot \frac{1}{T_5 p + 1} \cdot k_5(T_4 p + 1)}{1 + W_p(p)} = \\ &= \frac{0,7 \cdot 1,5 \cdot (0,2 \cdot p + 1)}{(0,2 \cdot p + 1) \cdot (1,15 \cdot p + 1)} = \frac{0,21 \cdot p + 1,05}{0,23 \cdot p^2 + 1,35 \cdot p + 1} = \\ &= \frac{0,184 \cdot p^3 + 1,31 \cdot p^2 + 2,15 \cdot p + 7,72}{0,184 \cdot p^3 + 1,31 \cdot p^2 + 2,15 \cdot p + 1} = \\ &= \frac{0,04 \cdot p^4 + 0,468 \cdot p^3 + 1,905 \cdot p^2 + 2,835 \cdot p + 1,05}{0,04 \cdot p^5 + 0,55 \cdot p^4 + 2,454 \cdot p^3 + 6 \cdot p^2 + 12,57 \cdot p + 7,72} \end{aligned}$$

Передаточна функція системи по помилці δ :

$$W_\delta(p) = \frac{1}{1 + W_p(p)} = \frac{0,184 \cdot p^3 + 1,31 \cdot p^2 + 2,15 \cdot p + 1}{0,184 \cdot p^3 + 1,31 \cdot p^2 + 2,15 \cdot p + 7,72}$$

Запис характеристичного рівняння

$$0,184 \cdot p^3 + 1,31 \cdot p^2 + 2,15 \cdot p + 7,72 = 0$$

Для побудови характеристик ланок системи скористаємось математичним пакетом MathCAD, ввівши допоміжні змінні та зробивши попередньо розрахунки характеристик.

$$\omega := 0.01, 10.01.. 500.01 \quad k := \frac{180}{\pi}$$

$$1. L1(\omega) := 20 \log(0.3)$$

$$\phi1(\omega) := 0$$

$$2. L2(\omega) := 20 \log(40)$$

$$\phi2(\omega) := 0$$

$$3. L3(\omega) := 20 \log \left[\frac{0.8}{\sqrt{1 + (0.8 \cdot \omega)^2}} \right]$$

$$\phi3(\omega) := -k \cdot \text{atan}(0.8 \cdot \omega)$$

$$4. L4(\omega) := 20 \log \left[\frac{0.7}{\sqrt{1 + (0.2 \cdot \omega)^2}} \right]$$

$$\phi4(\omega) := -k \cdot \text{atan}(0.2 \cdot \omega)$$

$$5. L5(\omega) := 20 \log \left[\frac{1}{\sqrt{1 + (1.15 \cdot \omega)^2}} \right]$$

$$\phi5(\omega) := -k \cdot \text{atan}(1.15 \cdot \omega)$$

$$L(\omega) := L1(\omega) + L2(\omega) + L3(\omega) + L4(\omega) + L5(\omega)$$

$$\phi(\omega) := \phi1(\omega) + \phi2(\omega) + \phi3(\omega) + \phi4(\omega) + \phi5(\omega)$$

Відповідно до розрахунків будуюмо графіки ЛАХ і ЛФХ (рис. 3.4 та 3.5):

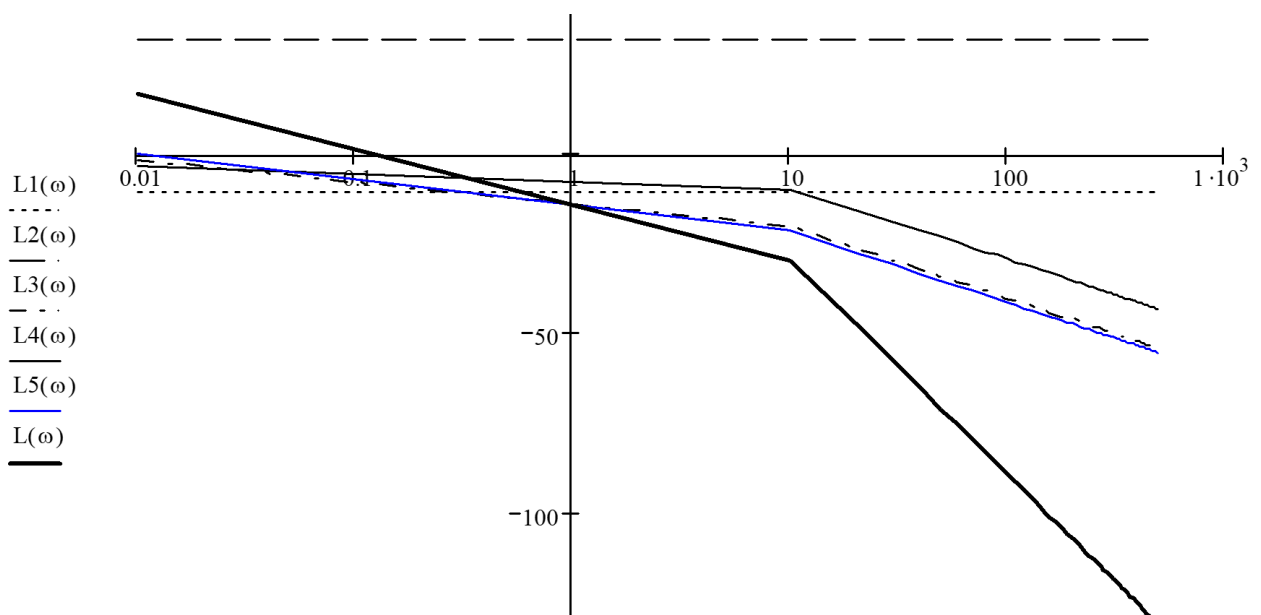


Рис. 3.4. Графіки ЛАХ

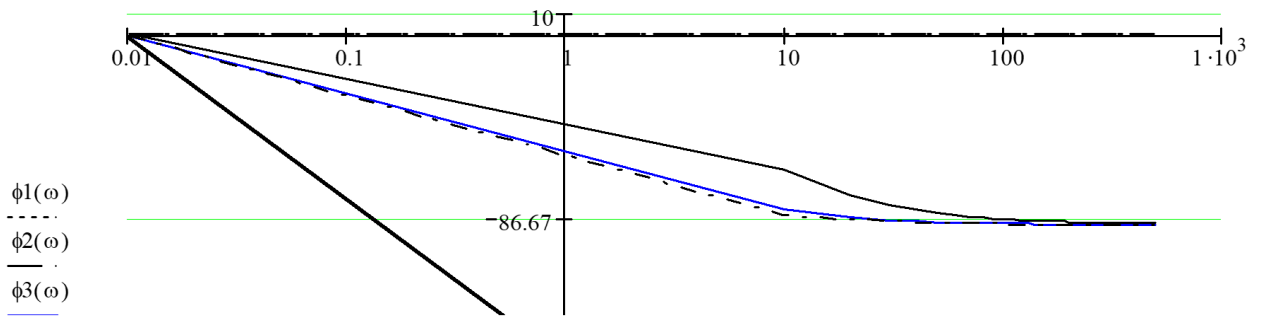


Рис. 3.5. Графіки ЛФХ

Частота зрізу:

$$\omega_{C3} = \frac{1}{T_3} = \frac{1}{0,8} = 1,25;$$

$$\omega_{C4} = \frac{1}{T_4} = \frac{1}{0,2} = 5;$$

$$\omega_{C5} = \frac{1}{T_5} = \frac{1}{1,15} = 0,87.$$

З графіків ЛАХ і ЛФХ видно, що точка перетину ЛАХ з віссю абсцис лежить лівіше, де фазовий зсув досягає значення рівного -1800 (на графіку це значення не зазначене). Значить система стійка.

На рис. 3.6 показано графік перехідного процесу регулювання температури при зміні завдання регулятора з 75 до 79 °С.

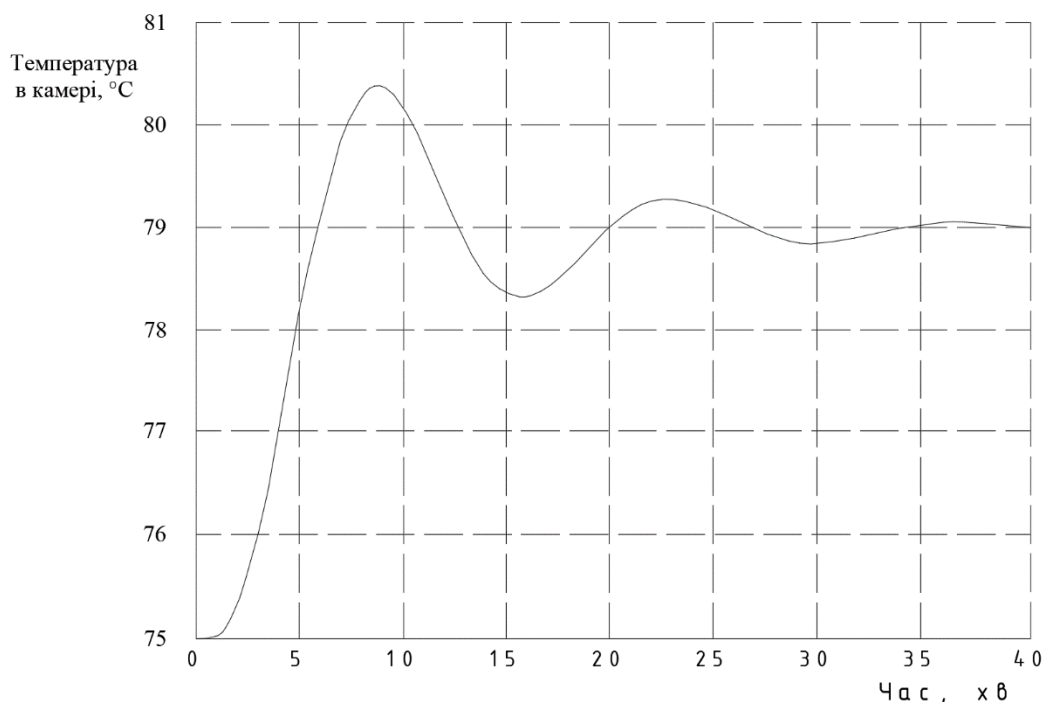


Рис. 3.6. Графік перехідного процесу регулювання температури

3.2. Дослідження впливу одного з параметрів системи на стійкість системи (метод D-розбиття)

Характеристичне рівняння в комплексній площині параметра k буде мати наступний вигляд

$$0,184 \cdot p^3 + 1,31 \cdot p^2 + 2,15 \cdot p + 7,72 = 0$$

Тоді, коефіцієнт k :

$$k = -(2,15 \cdot p + 1,31 \cdot p^2 + 0,184 \cdot p^3).$$

Використовуючи рівність $p = j\omega$, отримаємо:

$$k = 0,184 \cdot j\omega^3 + 1,31 \cdot j\omega^2 - 2,15 \cdot j\omega = A(\omega) + jB(\omega).$$

Відповідно отримаємо:

$$A(\omega) = 1,31 \cdot \omega^2$$

$$B(\omega) = 0,184 \cdot \omega^3 - 2,15 \cdot \omega$$

Використовуючи функцію $B(\omega)$ можна отримати величину ω , при якому значення $B(\omega)$ буде дорівнювати нулю. Цими величинами є $\omega=0$ і $\omega=\pm 3,418$.

Звідси:

$$A(3,418) = 1,31 \cdot 3,418^2 = 15,3$$

Враховуючи певний запас стійкості виділяють діапазон можливих величин коефіцієнта k .

Побудова D-розбиття (рис. 3.7):

$$\omega := -50, -49.8.. 50$$

$$A(\omega) := 1.31 \cdot \omega^2$$

$$B(\omega) := 0.184 \cdot \omega^3 - 2.15 \cdot \omega$$

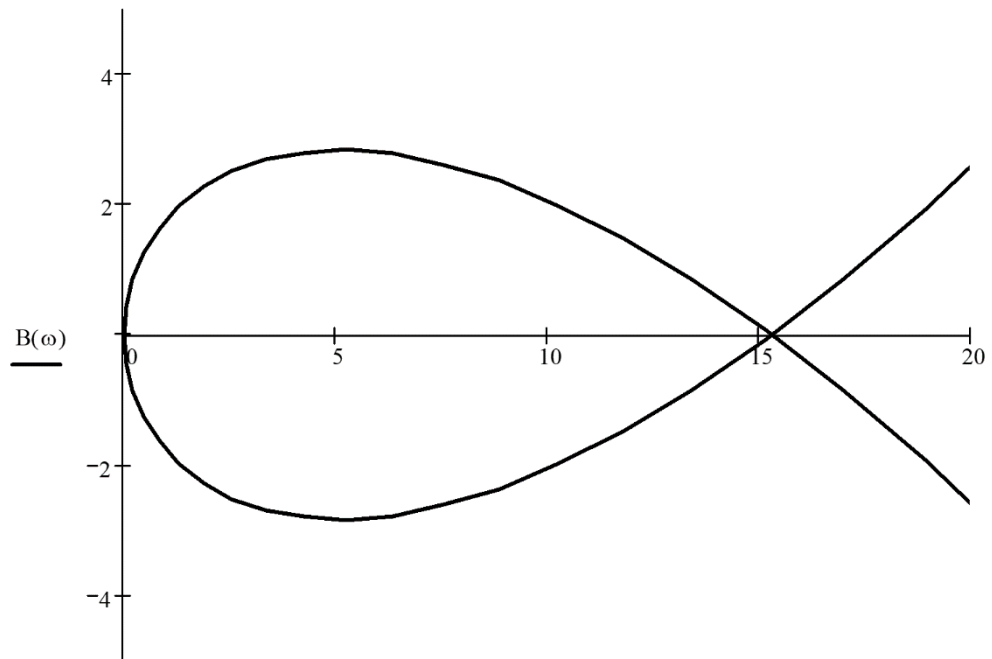


Рис. 3.7. D-розбиття

Помноживши знайдені табличні значення $h(t)$ на ординати відповідних реальних фігур дістанемо ординати відповідних фігур:

$$x_1(t_p) = h(t)_{N1} H_{1p} = 0,31 \cdot (-0,61) = -0,349;$$

$$x_2(t_p) = h(t)_{N2} H_{2p} = 0,98 \cdot (-5,61) = -5,59;$$

$$x_3(t_p) = h(t)_{N3} H_{3p} = 1,16 \cdot 4,76 = 5,52;$$

$$x_4(t_p) = h(t)_{N4} H_{4p} = 1,05 \cdot 0,76 = 0,79;$$

$$x_5(t_p) = h(t)_{N5} H_{5p} = 0,98 \cdot 0,55 = 0,541;.$$

Аналогічно можна дістати й інші ординати перехідного процесу при різних значеннях реального часу і побудуємо відповідну характеристику:

$$x_{\Sigma}(t_p) = x_1(t_p) + x_2(t_p) + x_3(t_p) + x_4(t_p) + x_5(t_p) + x_6(t_p).$$

Відповідна характеристика показана на рис. 3.8.

Апроксимація кривої розгону сушильної камери як об'єкту регулювання температури послідовним з'єднанням трьох аперіодичних ланок та однієї ланки запізнення дає задовільні результати. Максимальна похибка при апроксимації експериментальної кривої розгону становить 2.96%.

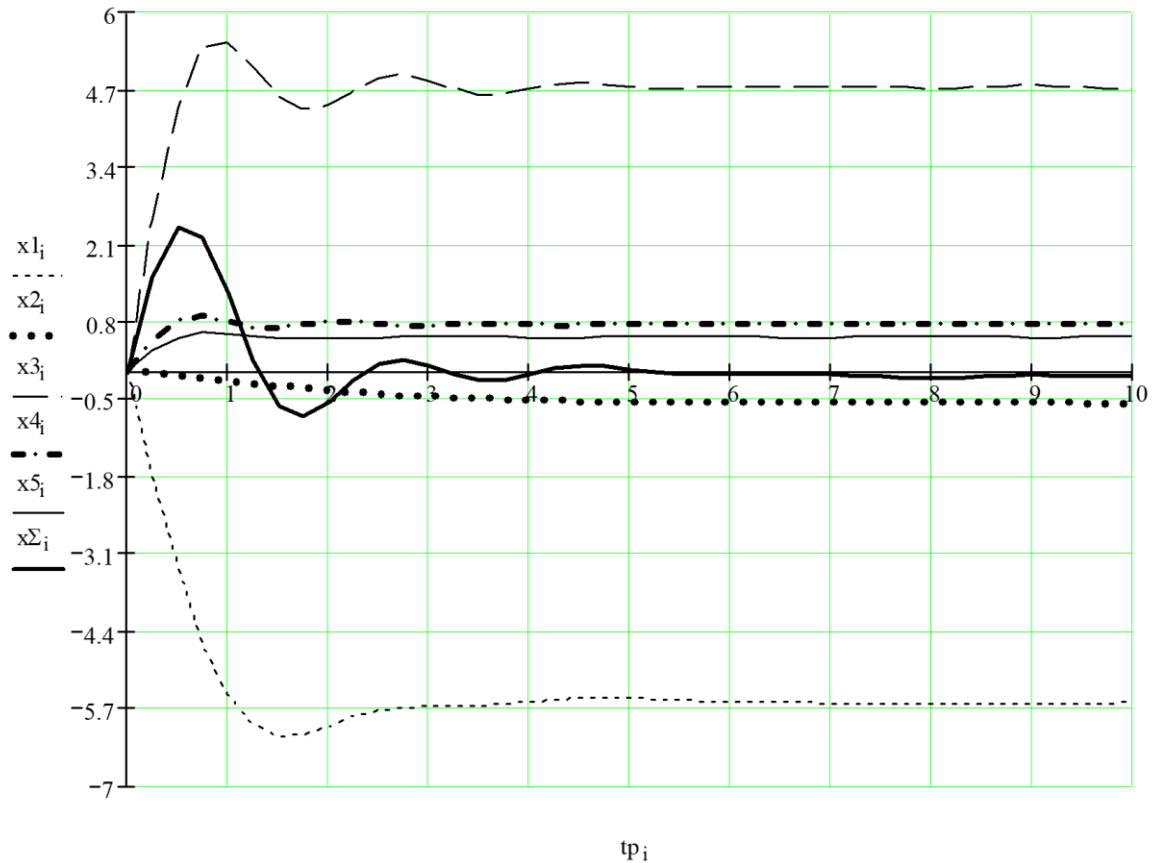


Рис. 3.8. Графік перехідного процесу

Отримані значення настрювальних параметрів ПІ-регулятора забезпечують задану стійкість АСР та задані показники якості перехідного процесу.

На рис. 3.9 показано криву розгону камери типу СПЛК-2 при 10% збуренні по ходу РО на паропроводі.

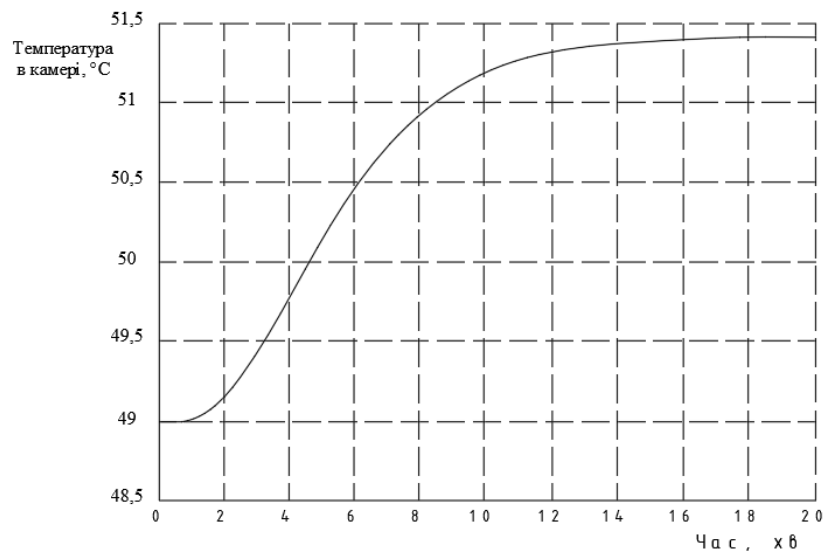


Рис. 3.9. Крива розгону камери типу СПЛК-2 при 10% збуренні

На рис. 3.10 показано графік перехідного процесу регулювання температури при 10% збуренні по ходу РО на паропроводі.

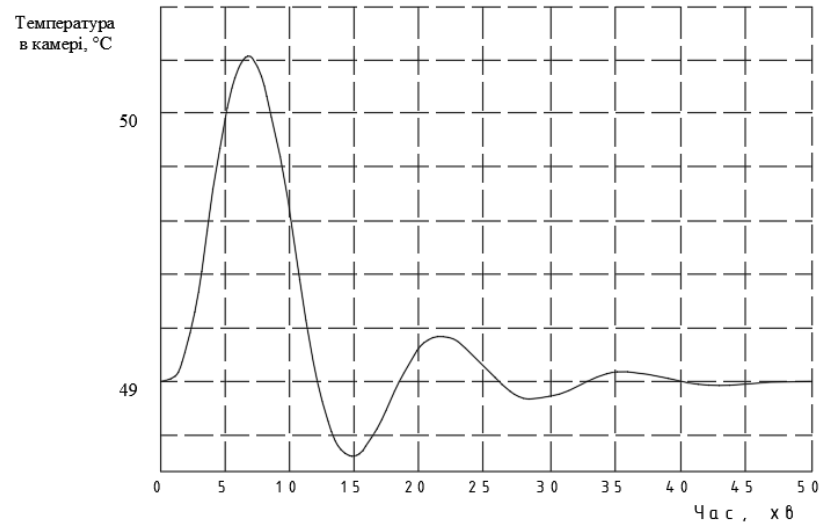


Рис. 3.10. Графік перехідного процесу регулювання температури при 10% збуренні

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Характеристика об'єкта проектування з точки зору охорони праці

У кваліфікаційній роботі розроблено схему автоматизації сушіння деревини. Сушіння відбувається в сушарках періодичної дії типу СПЛК-2, що являють собою закриті цільнометалеві камери, розраховані на одночасне завантаження близько 30м³ деревини. Сушіння відбувається в середовищі гарячого повітря температурою 60-100°С. Нагрів повітря здійснюється за допомогою парових калориферів.

Схемою автоматизації передбачено контроль та регулювання температури t та вологості ϕ повітря в камері. Давачі температури (термоперетворювач опорний) та вологості розміщені на задній та боковій стінках камери. Вологість дерева вимірюється методом зважування штабелю пиломатеріалів за допомогою тензометричних давачів ваги, розміщених під вагонеткою. Всі вторинні прилади та регулятор типу реміконт Р-130 розміщені на щитах КВП, що знаходяться в окремому приміщенні.

При виконанні робіт по встановленню та налагодженню засобів автоматизації можуть виникнути наступні небезпечні фактори:

- ураження людини електричним струмом через пробиття ізольованих частин електрообладнання.
- коротке замикання, спричинене виходом з ладу обладнання;
- поява іскри, в результаті чого може виникнути пожежа;
- можливість отримання опіків різного ступеня у випадку пошкодження трубопроводу.

Відповідно до правил СНіП 2-90-81 виробничі приміщення цеху сушіння відносяться до категорії В (пожежонебезпечні виробництва), як такі що мають

тверді горючі матеріали (деревина), які можуть при взаємодії з повітрям тільки горіти.

4.2 Безпека праці при тепловій обробці виробів

У камерних сушарках всі паропроводи та калорифери мають бути загороджені так, щоб виключалася можливість опіків робітників. Для встановлення та піднімання виробів на верхні полки стелажів необхідно застосовувати спеціальні драбини з верхніми майданчиками, які загороджені поручнями.

Електричні установки, з якими доводиться мати справу практично всім працюючим по встановленню та налагодженню засобів автоматизації, виявляють для людини велику потенційну небезпеку, яка збільшується у зв'язку тим, що органи чуття людини не можуть на відстані виявити присутність електричної напруги на обладнанні.

Степінь ураження електричним струмом залежить від цілого ряду факторів: вчення сили струму, електричного опору тіла людини та тривалості протікання через неї струму, виду та частоти струму, індивідуальних властивостей людини та умов навколишнього середовища.

Конструкція електроустановок повинна відповідати умовам їх експлуатації та забезпечувати захист персоналу від дотику з струмоведучими та рухомими частинами, а обладнання - від попадання всередину сторонніх твердих тіл та води.

Конструкція, вид виконання, спосіб встановлення, клас ізоляції застосовуваних провідників, кабелів, пристроїв та іншого електрообладнання відповідають вимогам електробезпеки. За ступенем ураження людей електричним струмом цех сушіння відноситься згідно ПУЕ 1.1.13 до категорії приміщень з підвищеною небезпекою (висока температура, можливість

почесного дотику до металевих елементів технологічного обладнання або металоконструкцій будинку та металевих корпусів електрообладнання).

У нормальному режимі роботи обладнання можливість ураження працівників електричним струмом виключена. Але на випадок аварії для запобігання ураження струмом людей передбачене захисне заземлення. Допустимий опір заземлення повинен бути не більшим 4 Ом.

При виконанні монтажних робіт використовуються переносні електроінструменти (електродрелі, електрошліфувальні установки, тощо). Для забезпечення безпечної праці корпуси однофазних електроприймачів повинні занулюватись.

Захист людини від ураження електричним струмом в мережах з зануленням здійснюється тим, що при замиканні одної з фаз на занулений корпус в ланці цієї фази виникає струм короткого замикання, що діє на струмовий захист (плавкий запобіжник, автомат), в результаті чого відбувається відключення аварійної ділянки від мережі. Крім того, ще до спрацювання захисту струм короткого замикання викликає перерозподіл напруги в мережі, що приводить до зниження напруги корпусу відносно землі. Таким чином, занулення зменшує напругу дотику та обмежує час, на протязі якого людина, що доторкнулася до корпусу, може потрапити під дію напруги.

Для того, щоб забезпечити швидке (на протязі декількох секунд) відключення аварійної ділянки, струм короткого замикання повинен бути достатньо великим. Відповідно до вимог ПУЕ струм короткого замикання повинен не менше ніж в три рази перевищувати номінальний струм плавкої вставки найближчого запобіжника або номінальний струм нерегульованого розчеплювача автоматичного виключачеля. При використанні автоматичних виключачелів, що мають тільки електромагнітний розчіплювач (відсічку), струм короткого замикання повинен перевищувати значення струму встановлення миттєвого спрацювання в 1.25-1.4 рази в залежності від номінального струму.

В однофазних електроприймачів, що включені між фазним та нульовим робочим проводами, занулення корпусів слід виконувати з допомогою окремого (третього) провідника, який повинен з'єднувати корпус електроприймача з нульовим захисним проводом. В таких випадках під'єднувати корпуси електроприймачів для забезпечення електробезпеки до нульового робочого проводу недопустимо, оскільки при його розриві (перегоранні запобіжника) всі під'єднані до нього корпуси виявляться під фазною напругою відносно землі.

В мережі з зануленням недопустимо використовувати заземлення окремих електроприймачів, не під'єднавши їх перед цим до нульового захисного провідника. В цьому випадку при замиканні фази на заземлений, але не приєднаний до нульового захисного провідника корпус створюється коло струму через заземлення цього корпусу та заземлення нейтралі джерела струму. Такий випадок небезпечний, оскільки засоби захисту не зможуть відключити такий електроприймач із-за малого значення струму і тому небезпечна напруга на всіх корпусах може зберігатися тривалий період, поки заземлений приймач не буде відключений вручну.

Важливо відмітити, що якщо занулений корпус одночасно заземлений, то це тільки покращує умови безпеки, оскільки забезпечує додаткове заземлення нульового захисного проводу.

Для ізоляції людини від частин електроустановок, що знаходяться під напругою, використовуються основні та допоміжні ізолюючі засоби, а саме: слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками, коврики, ізолюючі підставки, тощо.

У приміщеннях, де знаходяться вимірювальні прилади, необхідно забезпечити виконання заходів по боротьби з статичною електрикою. Найпростішим засобом є підтримка відносної вологості повітря на рівні 50-60% за допомогою побутового електрозволожувача "ІОН".

Підлогу слід виконувати відповідно до ДСТУ 12.4.124-83 №4459-88, використовуючи покриття на проходах і біля робочих місць з антистатичного лінолеуму.

Неантистатичне покриття підлоги необхідно обробляти антистатичними рецовинами типу "Лана-1". Усі полімерні покриття (чохли) ВП повинні складатися у найбільш віддаленому кутку приміщення.

Працюючим рекомендовано носити одягу з природних матеріалів або з комбінованих - природних і штучних волокон. Для зняття електростатичних зарядів з одяжі слід використовувати антистатика побутового призначення.

Оскільки корпуси приладів виконані з металу, то для усунення небезпеки ураження людини електричним струмом (можливий пробій на корпус приладу) використовується захисне заземлення.

4.3 Вибір приміщення для пункту управління

Пункт управління процесом сушіння розташований в окремому будинку неподалік від сушильних камер. Це дозволяє створити комфортні умови операторів, оскільки працюючі камери створюють шум внаслідок роботи потужних вентиляторів.

При встановленні щитів в щитовому приміщенні необачно виконувати вимоги діючих правил про допустиму ширину між рядами щитів. Площа приміщення повинна визначатись з урахуванням площі робочої зони не менше 4.5 м² на людину. Висота приміщення визначається висотою щитів. Двері повинні відчинятися назовні, щоб забезпечити вільний вихід працюючих.

Через щитове приміщення не можна прокладати транзитні трубопроводи опалення, водопроводу, каналізації, вентиляції, технологічні трубопроводи.

Прокладка електричних та трубних проводок в приміщенні повинна бути прихованою.

Температура, вологість та тиск повітря в пункті управління повинні відповідати вимогам для створення комфортних умов персоналу.

4.4 Заходи по забезпеченню безпеки технологічного процесу

Сушіння деревини, згідно технологічного процесу, відбувається в закритих камерах об'ємом 186.5 м³ при температурі 60-90°C.

В даному проекті передбачена можливість роботи АСК при тимчасовій відсутності обслуговуючого персоналу. В мікропроцесорний регулятор реміконт Р-130 закладена програма всього технологічного процесу сушіння включно з його завершенням. В разі досягнення матеріалом (дервиною) заданого проценту вологості, що контролюється дистанційним вологоміром, включається програма зупинки камери. Аналогічна програма включається в разі відчиненім воріт камери, що фіксується датчиком положення воріт. Якщо ворота сушильної камери відчинені, то запуск системи автоматичного управління неможливий. В цьому випадку припиняється подача пари в калорифер та у зволожувальні труби, виключається потужний вентилятор камері.

Передбачена сигналізація виходу регульованих параметрів (температури та вологості) за межі, передбачені технологією сушіння. Також сигналізується відкривання воріт камери.

В проекті передбачений захист в разі виникнення пожежі в камері. Наявність диму в камері фіксується аналізатором димності, який в цьому випадку подає сигнал на контролер. В цьому випадку подача пари в калорифер припиняється, вентилятор відключається та вступає в дію система пожежогасіння. Сигнал "пожежа" висвітлюється на пульті управління сушильними камерами.

В ході монтажних робіт та під час експлуатації камери можливі пошкодження паропроводу. Щоб виключити можливість опіків робітників, всі паропроводи та калорифери повинні бути загороджені.

Для встановлення засобів автоматизації на верхніх рівнях необхідно застосувати спеціальні драбини з верхніми майданчиками, які загороджені поручнями.

При завантаженні вагонеток з деревиною використовуються спеціальні лебідки Штовхати навантажені вагонетки ломами та іншими ручними посуваннями забороняється.

Всі роботи щодо внутрішнього огляду, ремонту і очищення сушильного обладнання слід проводити тільки за нарядом-допуском. При виконанні цих робіт, до яких встановлені підвищені вимоги по техніці безпеки, відповідальний керівник і виконавець робіт зобов'язані бути присутніми.

ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі було розроблено автоматизовану систему керування технологічним процесом сушіння деревини.

В аналітичній частині було приведено аналіз технологічного процесу та здійснено розрахунок витрати теплоти. В проектній частині проведено аналіз технологічного процесу, як об'єкту керування, здійснено обґрунтування вибору функціональної схеми автоматизації та вибору технічних засобів автоматизації. Проведено розробку принципової електричної схеми та електричної схеми з'єднань.

В спеціальній частині здійснено розрахунок автоматичної системи регулювання та дослідження впливу одного з параметрів системи на стійкість системи (метод D-розбиття), визначення частотної оцінки якості САР методом одиничних трапецій і трикутників.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Методичні рекомендації з виконання, оформлення та захисту кваліфікаційних робіт бакалаврів спеціальності 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / ТНТУ ім. І. Пулюя; уклад. А.Г. Микитишин, В.В. Левицький, Р.І. Королюк – Тернопіль: ТНТУ, 2023. – 81с.
2. Ігнатенко П., Ігнатенко О. Вплив сушіння деревини на її міцність/ Технічні науки та технології. – 2017. – № 4(10). – С. 241-246.
3. Espinoza, O., & Bond, B. (2016). Vacuum Drying of Wood—State of the Art. *Current Forestry Reports*, 2(4), 223-235. <https://doi.org/10.1007/s40725-016-0045-9>
4. Perre'P., Mosnier S., Turner I. W. Vacuum Drying of Wood with Radiative Heating: I. Experimental Procedure/ *AIChE Journal*. – 2004. – Vol. 50, No. 1. –р.97 –107
5. Ozarkiv, I. M., Kobrynovuch, M. S., Humeniuk, Z. H., & Petryshak, I. V. (2018). Контроль напружено-деформованого стану і вологості деревини в тепломасообмінних процесах сушіння. *Науковий вісник НЛТУ України*, 28(10), 81-84.
6. 10. Поберейко Б. П., Флуд Л. О., Мокрицький А. А. Контроль різниці фактичних та допустимих значень перепаду вологи за товщиною висушеного пиломатеріалу/ *Науковий вісник НЛТУ України*. –2017. – Вип. 27(6) .– С. 135–138.
7. Ігнатенко П. Л., Ігнатенко О. А., Сапон С. П. Аналіз якості сушіння пиломатеріалів на заключному етапі технологічного процесу сушіння *Технічні науки та технології*. - 2016. - № 3. - С. 204-209.
8. Автоматизовані системи керування на програмованих логічних контролерах: Навчальний посібник / Куцик А., Місюренко В.. — Львів: Львівська політехніка, 2011. — 200 с.

9. Програмування промислових контролерів у середовищі Unity Pro: Навчальний посібник / Пупена О.М., Ельперін І.В.. — К.: Ліра-К, 2013. — 376 с..
10. А.Г. Микитишин, М.М. Митник, П.Д. Стухляк, В.В. Пасічник Комп'ютерні мережі. Книга 1. [навчальний посібник] (Лист МОНУ №1/11-8052 від 28.05.12р.) - Львів, "Магнолія 2006", 2013. – 256 с.
11. Брусиловський Л.П. Автоматизація технологічних процесів в молочній промисловості. Колос 1999. – 314 с.
12. Галкін П. В., Ключник І. І. Програмування ПЛК в CODESYS : навчальний посібник. Харків : ФОП Панов А. М., 2019. – 92 с.
13. Житецький В.Ц. Основи охорони праці.- Львів: Афіша, 2000.- 350 с.
14. Губський А. І., Цивільна оборона.- К.: Міністерство освіти, 1995. - 216 с.
15. Пістун І.П., “Безпека життєдіяльності” – Суми: Університетська книга, 2000, - 302с.
16. Депутат О.П., Коваленко І.В., Мужик І.С. Цивільна оборона. Навчальний посібник / За ред. Полковника В.С.Франчука. – Львів : Афіша, 2000. – 336с.