

Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
"Національний гірничий університет"

Електротехнічний факультет

Кафедра Метрології та інформаційно-
вимірювальних технологій

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

магістерської дисертації

галузь знань 15 – Автоматизація та приладобудування

спеціальність 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

освітній рівень магістр

кваліфікація 2149.2 Інженер з метрології

на тему Метрологічне забезпечення системи автоматичного керування процесом сушіння деревини

Виконавець:

студент II курсу, групи 152м-16-1

(підпис)

Карчинський Р.І.

(прізвище та ініціали)

Керівники/консультанти	Прізвище, ініціали	Оцінка	Підпис
Проекту	Корсун В.І.		
розділів:			
Розділ 1	Корсун В.І.		
Розділ 2	Корсун В.І.		
Розділ 3	Корсун В.І.		
Розділ 4	Корсун В.І.		
Розділ 5	Дементьева Н.В.		

Рецензент			
Нормоконтроль	Харламова Ю.М.		

Дніпро
2018

**Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
"Національний гірничий університет"**

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
**Метрології та інформаційно-
вимірювальних технологій**

(повна назва)

Корсун В.І.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

" _____ " _____ січня _____ 2018 року

ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи магістра (магістерської дисертації)

спеціальності 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна
техніка

студенту групи 152м-16-1 Карчинському Р.І.
(група) (прізвище та ініціали)

Тема магістерської дисертації Метрологічне забезпечення системи
автоматичного керування процесом сушіння деревини

1 ПІДСТАВИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

Наказ ректора ДВНЗ "НГУ" від 31 жовтня 2017 р № 1806-л

2 МЕТА ТА ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБІТ

Об'єкт досліджень Метрологічне забезпечення системи автоматичного керу-
вання процесом сушіння деревини, лісосушильні камери і системи контролю
параметрів процесу сушіння

Предмет досліджень Застосування приладів вимірювання вологості
для контролю метрологічних характеристик у сушильній камері, пиломатеріали в
процесі сушіння

Мета НДР Дослідження вимірювання температури та вологості при сушінні
деревини, підвищення ефективності та якості сушіння пиломатеріалів

Вихідні дані для проведення роботи Результати переддипломної практики

3 ОЧІКУВАНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ

Наукова новизна Обґрунтування лісосушильної камери як об'єкту регулювання

температури агента сушіння

Практична цінність роботи полягає в тому, що буде підвищена якість висушеної
деревини

4 ВИМОГИ ДО РЕЗУЛЬТАТІВ ВИКОНАННЯ РОБОТИ:

Повинні відповідати держстандартам України та ISO

5 ЕТАПИ ВИКОНАННЯ РОБІТ

Найменування етапів робіт	Строки виконання робіт (початок-кінець)
Підготовчий. Збір матеріалів для дисертації.	10.09.17 – 30.09.17
Проведення огляду літературних джерел з тематики сушіння деревини, способів сушіння.	02.10.17 – 26.10.17
Дослідження динамічних властивостей об'єкту автоматизації. Вибір обладнання.	28.10.17 – 29.11.17
Технологічний розрахунок сушильної камери. Техніко-економічне обґрунтування. Висновки.	02.12.17 – 16.01.18

6 РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ

Економічний ефект _____

Соціальний ефект Задоволення потреб промисловості та населення

7 ДОДАТКОВІ ВИМОГИ

Завдання видав _____

(підпис)

Корсун В.І.

(прізвище, ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____

(підпис)

Карчинський Р.І.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі завдання: 04.09.2017

Термін подання дисертації до ЕК _____

.01.2018

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка магістерської дисертації складається з: 97 стор., 13 табл., 31 рисуноків, 36 літературних джерел.

Актуальність теми. Сушіння пиломатеріалів для всієї деревообробки є основоположним процесом. З одного боку вона в значній мірі визначає якість продукції з деревини, з іншого боку витрати на сушку можуть становити до 30% вартості сухих пиломатеріалів. При цьому факторами, в значній мірі визначають якість сухих пиломатеріалів є структура і величина параметрів режиму сушіння. Дані параметри протягом процесу сушіння повинні змінюватися по величині в залежності від поточної вологості деревини, що досить просто реалізується сучасними засобами автоматичного управління.

Мета роботи. Підвищення ефективності та якості сушіння пиломатеріалів.

Методологія і методи дослідження, застосовувані в дисертаційній-ної роботі, включають в себе загальнонаукові теоретичні методи дослідження: аналізу; синтезу; моделювання; системного аналізу.

Предметом дослідження є пиломатеріали в процесі сушіння.

Об'єктами дослідження є лісосушильні камери і системи контролю параметрів процесу сушіння.

Наукова новизна роботи полягає в наступному:

- обґрунтування лісосушильної камери як об'єкт регулювання температури агента сушіння;
- розглянена схема системи автоматичного управління процесом сушіння пиломатеріалів в камері періодичної дії .

Теоретичні, методологічні та інформаційні основи дослідження. Інформаційну базу дослідження склали матеріали наукових досліджень фахівців, наукова, навчальна та методична література, матеріали періодичних видань, патентна інформація, відомості з мережі Інтернет.

Теоретична значимість роботи полягає в отриманні нової інформації, встановлення закономірностей і формулюванні вимог до реалізації метрологічного контролю вологості деревини у сушильній камері.

Практична значимість полягає в експериментальному доведенні можливості і економічної доцільності технології сушіння пиломатеріалів на основі автоматизації.

Ключові слова: СУШІННЯ ДЕРЕВИНИ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК, КАМЕРНЕ СУШІННЯ, ВОЛОГОМІР, ТЕМПЕРАТУРА, ВОЛОГІСТЬ.

ABSTRACT

The explanatory note of the master's dissertation consists of: 97 p., 13 Tabl., 31 Drawings, 36 literary sources.

Actuality of theme. Lumber drying for all woodworking is an old-new process. On the one hand, it largely determines the quality of wood products, on the other hand, drying costs can amount up to 30% of the cost of dry lumber. At the same time, factors that largely determine the quality of dry lumber are the structure and magnitude of the parameters of the drying regime. These parameters during the drying process should vary in size depending on the current humidity of wood, which is quite simply implemented by means of automatic control.

The purpose of the work. Improving the efficiency and quality of lumber drying.

The methodology and methods of research used in the work include the general scientific theoretical methods of research: analysis; synthesis; modeling.

The subject of the study is sawn timber during the drying process.

The objects of research are wood drying chambers and systems for controlling the parameters of the drying process.

The scientific novelty of the work is as follows:

- the justification of the drying chamber as the object of the temperature control of the drying agent;
- the scheme of automatic control of the process of drying of lumber in the chamber of periodic action is considered.

Theoretical, methodological and information bases of research. The informational base of the research consisted of materials of scientific researches of specialists, scientific-educational, educational and methodical literature, materials of periodicals, patent information, information from the Internet.

The theoretical significance of the work consists in obtaining new information, establishing regularities and formulating requirements for the implementation of metrological control of wood moisture in the drying chamber.

The practical significance is to experimentally prove the possibility and economic feasibility of lumber drying technology based on automation.

Keywords: DRYING WOOD, MATHEMATICAL MODEL, TECHNOLOGICAL CALCULATION, CHAMBER DRYING, TEMPERATURE, MOISTURE, HUMIDITY.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	4
ВСТУП.....	11
1 Загальний розділ.....	12
1.1 Загальні положення теплового сушіння.....	12
1.2 Закономірності руху вологи в деревині, характеристика основних процесів.....	14
1.3 Хід процесу сушіння пиломатеріалів.....	16
1.4 Напруження в деревині при сушінні.....	19
1.5 Технологічний процес сушіння деревини.....	21
2 РОЗДІЛ Способи сушіння деревини.....	24
2.1 Способи сушіння деревини	24
2.2 Сушіння деревини в рідинах.....	25
2.3 Спосіб випарювання	26
2.4 Конденсаційний спосіб сушіння.....	27
2.5 Атмосферне сушіння.....	27
2.6 Камерне і атмосферно-камерне сушіння.....	29
2.7 Ротаційний спосіб сушіння.....	32
2.8 Вакуумний спосіб сушіння.....	33
2.9 Контактна сушка.....	34
2.10 Сушка в електричному полі струмів високої частоти (СВЧ).....	35
2.11 Радіаційна сушка.....	36
2.12 Контроль за вологістю деревини і внутрішніми напруженнями в процесі сушіння.....	37

2.13 Якість сушіння пиломатеріалів. Закінчення процесу сушіння.....	39
3 РОЗДІЛ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	44
3.1 Опис технологічного процесу і обладнання	44
3.2 Обґрунтування і вибір елементної бази	56
3.2.1 Вибір засобів вимірювання вологості.....	58
3.2.2 Вибір мікроконтролера.....	60
3.2.3 Вибір електрокалорифера.....	62
3.2.3 Вибір паро зволожувача.....	64
4 РОЗДІЛ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК СУШИЛЬНОЇ КАМЕРИ	67
4.1 Пристрій і принцип дії сушильної камери.....	67
4.2 Вибір і обґрунтування режимів сушки і вологотеплообробки.....	68
4.3 Вибір початкового прогріву і вологотеплообробки.....	70
4.4 Технологічний розрахунок.....	72
4.4.1 Розрахунок тривалості циклу сушіння.....	72
4.4.2 Розрахунок кількості сушильних камер.....	79
5 РОЗДІЛ ЕКОНОМІКА.....	81
5.1 Постановка завдання.....	81
5.2 Розрахунок капітальних витрат.....	81
5.3 Розрахунок експлуатаційних витрат.....	84
5.3.1 Амортизаційні відрахування.....	84
5.3.2 Розрахунок річного фонду заробітної плати.....	85
5.3.3 Розрахунок єдиного соціального внеска	87
5.3.4 Витрати на поточний ремонт.....	87
5.3.5 Інші витрати.....	88
5.3.6 Витрати на електроенергію.....	88

	10
5.4 Розрахунок економії від впровадження прибору.....	90
5.4.1 Розрахунок додаткового обсягу продукції.....	90
5.4.2 Розрахунок економічної ефективності проекту	91
ВИСНОВОК	93
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	94

ВСТУП

Сушіння деревини, є енергоємним процесом, пов'язаним зі значною витратою палива, пара, а також електроенергії, а отже використання високоточної автоматики дозволить значно скоротити термін сушіння та знизити енергетичні витрати. Сушать деревину у вигляді пиломатеріалів (дощок, брусів, заготовок), шпон (тонколистового матеріалу), трісок, стружки і волокон. Також поширеним є сушка круглого лісоматеріалу (деталі опор ліній електропередачі, зв'язки, будівельні деталі).

Деревину висушують з метою: попередження розміро- і формо змінності деталей; запобігання псуванню і загнивання; збільшення питомої міцності; підвищення якості обробки і склеювання.

Широке впровадження систем автоматизації дає народному господарству разом з прямим економічним ефектом значний організаційний ефект, тому що вимагає фахівців високої кваліфікації і підвищує загальний рівень організації виробництва, покращує стиль і ефективність керівництва. Тому рівень механізації і автоматизації виробничих процесів є одним з важливих показників науково-технічного прогресу в країні.

На даний час проблема автоматизації сушіння деревини вирішувалася шляхом використання застарілих приладів. Для контролю технологічних параметрів використовувалися аналогові прилади з малим класом точності і технічними показниками, які не відповідають сучасним вимогам.

Паралельно з застарілим обладнанням, останнім часом, на ринку автоматики з'явилися засоби автоматизації, розроблені провідними фірмами. Ці засоби повністю задовольняють вимогам, поставленим перед автоматизацією процесу сушки, але негативним є той фактор, що ціни на них залишаються недоступними.

Отже, застаріла як моральна, так і фізична складова, існуючого обладнання поруч з дороговизною і недоступністю сучасних засобів автоматизації робить процес сушіння деревини, досить складним, вимагає високої кваліфікації працівників і обслуговуючого персоналу.

1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Загальні положення теплового сушіння деревини

Деревина є важливою і цінною виробничою сировиною. У багатьох галузях промисловості і будівництва широко використовується деревина у вигляді пиломатеріалів, фанери, дерев'яних плит і ін.

Зростаюче дерево, як і будь-який живий організм, містить в собі велику кількість вологи. У зрубаному дереві волога відіграє негативну роль, погіршуючи технічні властивості дерев'яного матеріалу. Волога деревина схильна до загнивання, що викликається різними грибками, що руйнують її структуру.

При виготовленні великої кількості виробів волога є серйозною перешкодою і повинна бути вилучена з деревини попередньо, до вживання її в діло. З цією метою деревину сушать до певної вологості, що відповідає умовам експлуатації споруди або виробу. Так, наприклад, деревина для виготовлення меблів повинна висушуватися до низької вологості (6-10%), а дошки для обшивки будинку досить сушити до 16-18%.

Сушка є обов'язковою і при цьому найтривалішою і дорогою операцією в технологічному процесі кожного деревообробного виробництва. Добре проведена сушка служить базою відмінної якості виробів з деревини.

Процес сушіння полягає у видаленні вологи з матеріалу випаровуванням. Інформація, що міститься в ньому волога переходить в пароподібний стан і видаляється в навколишнє середовище. Сушіння деревини, (в т.ч. пиломатеріалів), може відбуватися двома шляхами: природним - на відкритому повітрі і штучним - в спеціальних сушильних установках.

У сушильній техніці середовище, що служить для поглинання і відведення пари, що утворився в процесі сушіння матеріалу, називається сушильним агентом. Підведення тепла до об'єкта сушіння здійснюється робочим тілом сушильного процесу, званим теплоносієм. Теплоносієм служить середовище, сприймає необхідну для сушіння теплову енергію від зовнішнього джерела і передає її сушимо матеріалу або агенту сушіння.

У якості теплоносія в повітряних лісосушильних камерах використовують воду, пар і електроенергію. Вибір теплоносія визначається в першу чергу вартістю, а також втратами теплоносія при подачі до сушильної установки і побічними витратами.

Вартість теплової енергії, що поставляється споживачеві у вигляді гарячої води або пари (в розрахунку на 1Гкал), при наявності великих ТЕЦ, майже однакова. Транспортні втрати енергії також приблизно рівні і не перевищують 4-5% на 1 км трубопроводів. Однак при паровому постачанні виникають додаткові втрати, пов'язані з вторинним скипанням конденсату, величина яких визначається робочим тиском пари. Їх величина становить приблизно 8% від початкового тепловмісту робочого пара.

Таким чином, водяне теплопостачання з точки зору втрат при транспортуванні, більш економічно. Однак потужність приводу насосного обладнання водяних систем більше, ніж парових. Очевидно, слід вибирати систему подачі теплоносія в залежності від конкретних умов з урахуванням потужності сушильних установок, відстані подачі води (пара), технології та режимів сушіння, а також вологотеплообробки кінцевої продукції.

Як сушильний агент для лісосушильних камер використовується атмосферне або нагріте повітря, перегріта пара і топкові гази в суміші з повітрям. Витрата тепла на сушку залежить від температури сушильного

агента і знижується в міру її підвищення. Зниження витрати обумовлено не стільки зниженням витратою тепла на випаровування, скільки зменшенням тривалості сушіння, і, отже, зниженням витрат енергії на підігрів свіжого повітря, втрати через огородження і привід вентиляторів.

За інших рівних умов співвідношення питомих витрат теплоти на сушку пиломатеріалів по м'яким, нормальним, форсованим і високотемпературним режимам досить точно характеризується відношенням 1,00: 0,90: 0,85: 0,80. З точки зору термодинаміки, особливо вигідна сушка в перегрітому парі, тому що не витрачається енергія на підігрів свіжого повітря. Однак при виборі температурного рівня режиму необхідно виходити з необхідної якості

висушуваних матеріалів і не допускати їх викривлення і розтріскування. У зв'язку з цим використання підвищених температур для сушіння пиломатеріалів обмежена.

1.2 Закономірності руху вологи в деревині, характеристика основних процесів

При сушінні в першу чергу найбільш швидко випаровується волога з поверхні і з зовнішніх шарів деревини. З внутрішніх зон до зовнішніх волога надходить повільніше і вимагає певних умов.

Явище випаровування вологи з поверхні деревини в навколишнє середовище називається вологовіддачею. Основними причинами руху вологи в деревині є:

- нерівномірний розподіл вологи за обсягом матеріалу, яке викликає її переміщення в напрямку сухих умов, такий характер руху носить назву **вологопровідності**;
- неоднакова температура за обсягом матеріалу, що приводить до руху вологи в напрямку зниженої температури, це явище називається **термовологопровідністю**;
- наявність у внутрішніх шарах деревини надлишкового у порівнянні з зовнішнім середовищем тиску, під дією якого волога у вигляді спрямованого потоку пара рухається в бік більш низького тиску, такий рух називається **молярним вологопереносом**.

Відзначимо можливості інтенсифікації зазначених процесів.

Інтенсивність вологопереносу при вологопровідності зростає з підвищенням температури і збільшенням перепаду вологості між зовнішніми і внутрішніми шарами деревини. Причому щільність потоку вологи пропорційна перепаду вологості. Слід зазначити, що вологопровідність спостерігається при вологості деревини нижче межі гігроскопічності.

Інтенсивність перенесення вологи при термовлагопровідності і молярном

вологперенос зростає зі збільшенням різниці температури і тиску (відповідно до видів перенесення) між внутрішніми і зовнішніми шарами матеріалу.

На практиці сушку потрібно вести так, щоб потік вологи з внутрішніх шарів деревини до зовнішніх, ні відступався за інтенсивністю вологовіддачі (випаровування з поверхні). В іншому випадку зовнішні шари пиломатеріалів пересохнуть і внаслідок великої усадки в порівнянні з внутрішніми можуть розтріскатися.

Інтенсивність вологовіддачі залежить від різниці парціальних тисків в шарі вологого повітря над поверхнею деревини і в обсязі навколишнього повітря, а також від швидкості агента сушіння. Чим більше різниця парціальних тисків і швидкість повітря, тим сильніше випаровується волога з поверхні деревини і тим вище вологовіддача.

Парціальний тиск водяної пари над поверхнею деревини буде тим більше, чим вологіше або більш нагріта деревина, яка піддається сушінню. Парціальний тиск повітря в просторі, що оточує деревину, залежить в свою чергу від його температури і відносної вологості.

Тільки при сушінні дуже тонких дерев'яних матеріалів, наприклад шпону і фанери, інтенсивність сушіння може визначатися вологовіддачею. При сушінні будь-яких пиломатеріалів вирішальну роль буде грати вологопровідність.

На цей процес впливають такі чинники:

а) перепад вологості (градієнт вологості) - різниця у вологості між внутрішніми більш вологими і зовнішніми висихаючими шарами деревини;

б) температура деревини (відомо, що чим сильніше прогріта деревина, тим вище її вологопровідність за рахунок зниження в'язкості вологи в капілярах).

На практиці сушіння пиломатеріалів під дією перепаду температур виникає інтенсивний потік вологи від більш гарячих зон до більш холодним навіть у тих випадках, коли холодна зона виявляється більш вологою.

При нагріванні деревини вище 100 С вільна волога всередині клітин і в міжклітинних просторах закипає. При цьому тиск пару у внутрішніх зонах стане

вище атмосферного і утворюється перепад тисків, який пожене вологу зсередини до поверхні.

1.3 Хід процесу сушіння пиломатеріалів

Деревні матеріали сушать, переважно, конвективним (газопаровим) способом сушіння. Стосовно до пиломатеріалів, висушуваних в спеціальних камерах, цей спосіб отримав назву камерного сушіння. Основна ознака, що характеризує умови її протікання - температура середовища. У практиці прийнято розділяти процеси сушіння на низькотемпературні (температура сушильного агента менше 100 С) і високотемпературні (температура понад 100 С), що обумовлено особливостями пароутворення при різних рівнях температури, а саме - випаровування в першому і кипіння в другому випадках.

Процеси сушіння прийнято аналізувати за кривими зміни в часі середньої вологості деревини (криві сушіння), зміни в часі відносин інтервалів середньої вологості і часу (криві швидкості сушіння), її температури (температурні криві) і кривим розподілу вологи по товщині сортименту на різних етапах процесу (рис.1.1).

Процес сушіння пиломатеріалів протікає нерівномірно і може бути розділений на чотири етапи.

Перший етап - прогрів деревини, під час якого волога з неї не убуває. При цьому волога, що знаходиться в зовнішніх зонах, нагрівається сильніше, ніж у внутрішніх, і це викликає рух її зовні всередину. Якщо при цьому ми не сповільнимо вологовіддачу з поверхні, то зовнішні шари пересохнуть і можуть розтріскатися. Тому прогрівати штабель пиломатеріалів потрібно обов'язково при високій відносній вологості агента сушіння, щоб звести вологовіддачу до нуля.

Другий етап - сушка деревини від високої початкової вологості W_n до так званої критичної $W_{кр}$, що трохи перевищує значення вологості межі гігроскопічності (межі насичення волокон). $W_{кр} \approx W_{п.г.} = 30\%$

На цьому етапі з деревини видаляється вся вільна волога і процес сушіння протікає найбільш інтенсивно.

Третій етап - сушка від критичної вологості до заданої кінцевої. На цьому етапі з деревини видаляється зв'язана волога. Процес йде більш повільно, ніж на другому етапі.

Четвертий етап - охолодження пиломатеріалів. У деяких випадках йому передують кондиціонування.

Розглянемо особливості низькотемпературного процесу сушіння, який є основним способом сушіння пиломатеріалів.

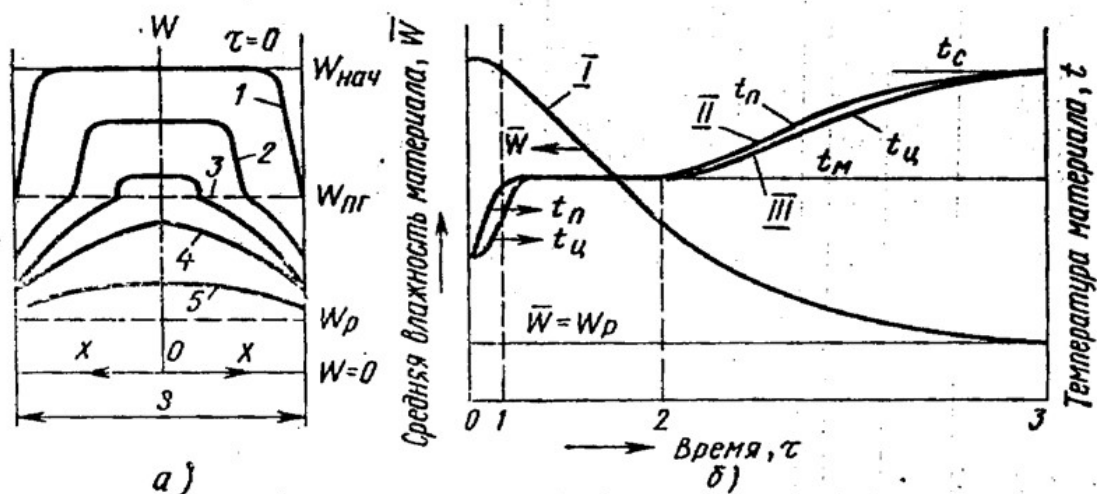


Рисунок. 1.1 - Криві розподілу вологості по товщині пластини (а), крива сушіння і температурні криві (б) низькотемпературного процесу
 1,2,3,4,5 - криві розподілу вологості по товщині пластини на різних етапах процесу; I - крива сушіння, II - температурна крива на поверхні пластини, III - температурна крива в центрі пластини.

Припустимо, що зразок деревини у вигляді пластини товщиною S з початковою вологістю $W_{поч.}$, що перевищує $W_{п.н.}$, поміщений в нагріте повітря. Волога по товщині пластини розподілена рівномірно. Стан повітря характеризується його температурою t_c («сухого») і температурою «змоченого» термометра t_3 . Відразу ж з поверхні пластини почнеться випаровування вологи, яке знизить вологість поверхневих шарів. Поки вологість на поверхні буде вище

$W_{п.г.}$, волога в деревині переміщатися не буде. Її рух почнеться, коли вся вільна волога буде видалена з поверхні. З цього моменту між внутрішніми шарами деревини, де волога знаходиться в порожнинах клітин, і поверхнею, де волога міститься тільки в клітинних стінках, з'явиться різниця капілярних тисків. Різниця тисків забезпечує подачу вільної вологи до поверхні в міру її випаровування (рис. 1.1, а; крива 1). Спочатку вільна волога видаляється з зовнішніх шарів деревини. Вологість поверхні залишається при цьому постійною і відповідає приблизно межі гігроскопічності. Швидкість сушіння в цей період є сталою і визначається інтенсивністю випаровування вологи з поверхні пластини.

У міру подовження шляху руху вільної вологи швидкість її підведення до поверхні зменшується. Настає момент, починаючи з якого ця швидкість стає нижче можливої швидкості випаровування. Внаслідок цього вологість поверхні стає нижче $W_{п.г.}$. За товщиною пластини утворюються дві зони: зовнішня, з вологістю нижче межі гігроскопічності, і внутрішня, що має вологість вище межі гігроскопічності.

У зовнішній зоні щільність потоку вологи пропорційна перепаду вологості. Ця зона називається зоною вологопровідності. У внутрішній зоні як і раніше рух вільної вологи йде за рахунок різниці капілярного тиску, але тільки до внутрішньої межі зони вологопровідності. У міру заглиблення зони вологопровідності (рис. 1.1, а; криві 2, 3) середня вологість, деревини і швидкість сушіння зменшуються. Надалі після видалення вільної вологи (крива 4) по всій товщині пластини основною причиною руху вологи буде вологопровідність.

До кінця процесу вологість сортименту прагне до рівноважної (крива 5). Практично ж процес сушіння закінчують значно раніше, при досягненні деревиною заданої кінцевої вологості $W_{кін}$. Крива сушіння I (рис. 1.1, б) складається з трьох ділянок, що відповідають трьом періодам процесу: періоду початкового прогріву (відрізок 0-1), періоду постійною швидкості сушіння (відрізок 1-2) і періоду падаючої швидкості сушки (відрізок 2-3).

При камерній сушці пиломатеріалів тривалість періоду постійною швидкості незначна і процес практично повністю протікає в періоді падаючої

швидкості сушки. При сушінні тонких сортиментів (наприклад, шпону) тривалість періоду постійною швидкості сушки дуже значна в порівнянні із загальною тривалістю процесу.

Температура поверхні пластини t_p під час прогріву швидко підвищується (рис. 1.1, б). У період постійної швидкості сушіння вона незмінна і дорівнює температурі змоченого термометра t_3 а в період падаючої швидкості поступово зростає, прагнучи до температури середовища t_c . У центрі матеріалу температура $t_{ц}$ при прогріванні нижче температури t_p , в періоді постійною швидкості дорівнює їй, а в періоді падаючої швидкості сушки відрізняється від неї незначно.

Розглянутий процес спостерігається і при сушінні сирого шпону з температурою середовища, що значно перевищує $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. При цьому основною причиною переміщення вологи в цьому процесі є вологопровідність. Термовологопровідність спостерігається лише в період прогріву матеріалу.

1.4 Напруження в деревині при сушінні

Процес сушіння деревини, як встановлено, супроводжується нерівномірним розподілом вологи по товщині сортименту. Це викликає нерівномірне сушіння деревини та призводить до утворення в ній внутрішньої напруги.

Розглянемо як виникають і розвиваються внутрішні напруження в деревині при її сушінні. Поки вологість зовнішніх шарів вище або дорівнює вологості межі насичення клітинних стінок $W_{п.н.}$ (Рис. 1.2, а, крива 1), усушки немає і напруги в матеріалі відсутні.

Після зниження вологості нижче $W_{п.н.}$ (Крива 2) поверхневі шари прагнуть до усихання. Однак цього будуть перешкоджати внутрішні шари, вологість яких ще поки вище $W_{п.н.}$. Розпочату усушку можна виявити, якщо з висушеного сортименту випиляти з усього поперечному перерізу пластинку (секцію) і розпиляти на ряд шарів по товщині (рис. 1.2, б). Виявимо, що внутрішні шари зберегли первісний розмір з ширини сортименту l_o , а поверхневі шари всохли на величину $У_p$. Їх розмір тепер становить l_n . Ціла, нерозрізана пластинка має фактичний розмір $l_{ф}$, менший, ніж l_o , і більший, ніж l_n . Оскільки розмір поверхневих шарів став менше фактичного, то ці

шари відчувають напруження розтягу, а внутрішні шари, розмір яких став більше фактичного, відчувають напруження стиску.

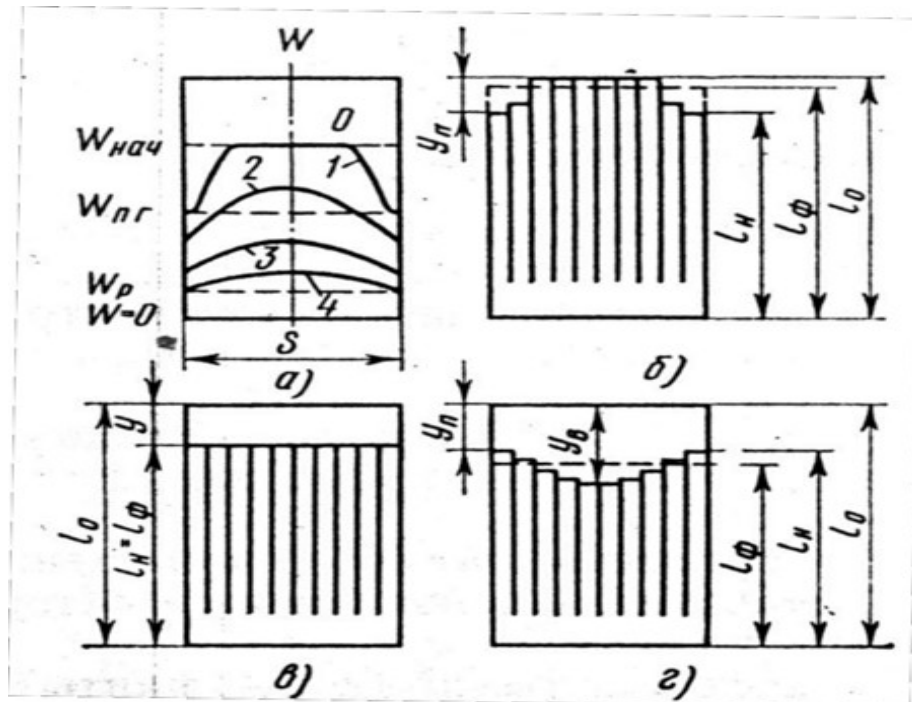


Рисунок 1.2 - Схеми до розвитку деформацій і напружень при сушінні деревини: а - криві розподілу вологості з товщині пластини в різні моменти процесу сушіння, б, в, г - види шарів секції в моменти часу процесу, відповідні кривим 2,3 і 4 розподілу вологості.

Якби деревина була пружним тілом, то внутрішня напруга зменшувалися б у міру зниження перепаду вологості і остаточно зникали при вирівнюванні вологості в кінці сушіння. Однак в початковий період процесу волога нагріта деревина має підвищену піддатливість до навантажень. В результаті під дією напружень в ній розвиваються залишкові деформації: деформації подовження в поверхневих шарах (під дією напруг, що розтягують) і деформації укорочення у внутрішніх шарах (під дією стискаючих напруг).

У міру зниження вологості деревина стає менш податливою і в більшій мірі проявляє властивості пружного тіла. Тому виниклі на початку процесу залишкові деформації зберігаються в матеріалі до кінця сушки.

В результаті цього до кінця процесу (рис. 1.2, а, крива 4) усадка на поверхні $U_{\text{п}}$ виявиться менше, ніж усадка внутрішніх шарів $U_{\text{в}}$ (рис. 1.2, г), або, іншими словами, розмір поверхневих шарів секції після її розкрою буде більше, а внутрішніх шарів менше фактичного розміру $l_{\text{ф}}$. У деревині з'являться стискуючі напруги на поверхні і розтягують напругу у внутрішніх шарах матеріалу. Таким чином, в процесі сушіння відбувається зміна напружень. У цей момент, який настає на деякому проміжному етапі процесу (крива 3), напруги в деревині відсутні (рис. 1.2, в).

Виникаючі в деревині напруги врівноважується в межах даного зразка. Щоб їх виявити, треба порушити цю рівновагу, розділивши зразок або секцію на частини. Кожна частина буде прагнути до нового рівноважного стану шляхом деформацій. У секції, розрізаної на тонкі шари, деформації проявляються у вигляді подовження або вкорочення. У виробництві для встановлення характеру внутрішньої напруги з пиломатеріалів випилюють секції у вигляді двозубої гребінки. Деформації в цьому випадку будуть виявлятися вигином зубців цієї гребінки.

Якщо внутрішня напруга в будь-якій точці сортименту досягнуть межі міцності, то станеться його руйнування. Руйнування проявиться у вигляді тріщини в зоні дії розтягуючих напружень, тобто в першій стадії сушіння на поверхні, а на кінцевій стадії - всередині сортименту.

Уникнути напружень в деревині при конвективному сушінні неможливо. Однак при правильному проведенні процесу виникають напруги які не перевищують межі міцності. Крім того, внутрішня напруга можуть бути зменшена і навіть ліквідовані шляхом вологотеплообработки деревини.

1.5 Технологічний процес сушіння деревини

Документами, в яких викладені правила укладання та сушіння пиломатеріалу, вимоги до якості, режими, методи контролю та інші нормативні і

розрахункові матеріали, є «Керівні матеріали по камерній сушці пиломатеріалів», ГОСТ 19773-74 і ГОСТ 18867-84.

Технологічний процес сушіння складається з етапів: початкової вологотеплообробки, сушки, проміжної вологотеплообробки, кінцевою вологотеплообробки, підсушування, кондиціонування.

Початкову вологотеплообробку роблять після завантаження камери для швидкого прогрівання деревини. При закритих приточно-витяжних каналах подають пар в зволожувальні труби, включають калорифери і вентилятори. Температура повітря в камері встановлюється на 5°C вище температури першого ступеня режиму (але не вище 100°C); вологість повітря $98-100^{\circ}$ (при вологості деревини більше 25%) і $90-92^{\circ}\text{C}$ (при вологості деревини 25% і менше). Тривалість прогріву по ГОСТ 19773-84 від 1 до 3 год на кожен сантиметр товщини в залежності від породи і початкової температури пиломатеріалу.

Сушка матеріалу виконується по одному з режимів, рекомендованих стандартом. Режимом встановлюється температура і вологість повітря в камері. За температурі розрізняють м'які, нормальні, форсовані і високотемпературні режими. Режим призначається залежно від породи, товщини і призначення висушується. Будь-який вибраний низькотемпературний режим містить три ступені (рівня) стану повітря в камері. Перехід від першого ступеня до другої відбувається при вологості деревини 30%, від другої до третьої при 20%. При переході знижується вологість повітря і підвищується температура.

Високотемпературний режим має тільки два ступені, перехід від першої до другої робиться при вологості 20%.

Для камер безперервної дії в залежності від режиму регламентується стан повітря в сухому і сиром кінцях камери.

Нагрівання і підтримання потрібної температури в сушильній камері здійснюється на основі трьох теплогенераторів. На рисунку 1.3 зображений теплогенератор який працює на основі спалюваних дров (тирси).

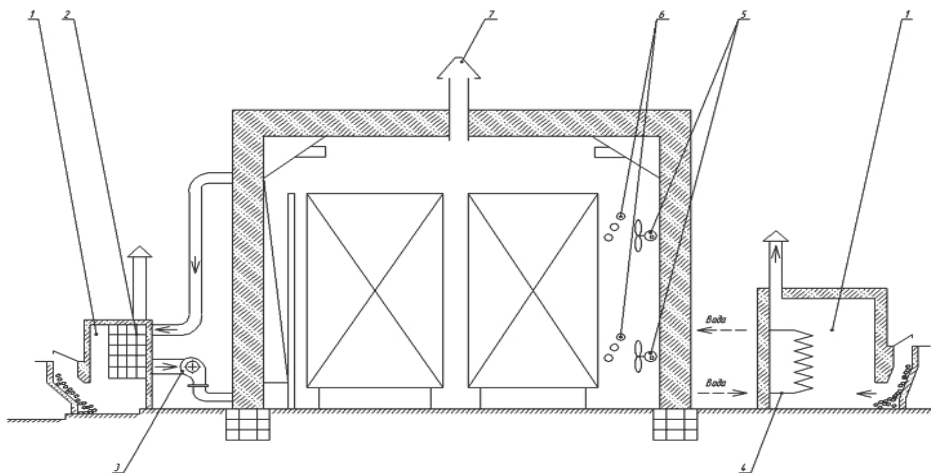


Рисунок 1.3 – Технологічна схема процесу сушіння

- 1 - котел; 2 - труби з повітрям; 3 - відцентровий вентилятор;
 4 - труби з водою; 5 - вентилятор; 6 - радіатори з гарячою водою;
 7 - витяжка

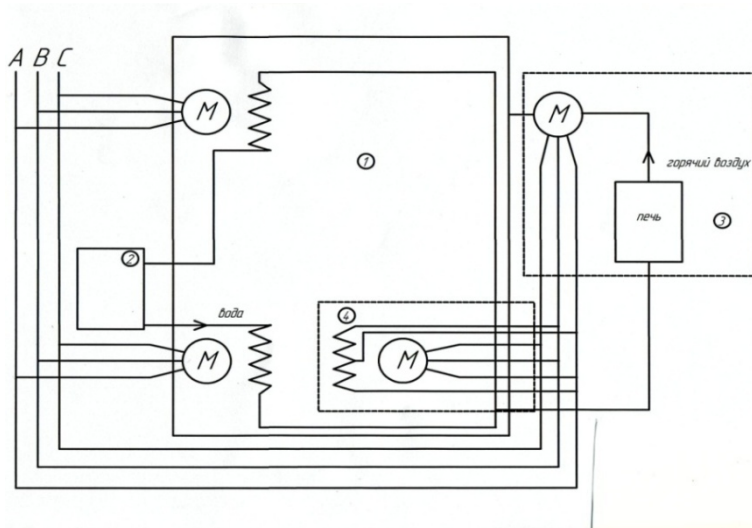


Рисунок 1.4 – Електрична схема живлення електрообладнання

- 1 - сушильна камера; 2 - водяний котел; 3 - пічний калорифер; 4 - електрокалорифер.

Другий теплогенератор працює на основі водяного котла та двох радіаторів, які обдуваються вентиляторами. Ці два теплогенератора застосовуються для грубої регуляції температури, а для більш точного регулювання використовують третій - електрокалорифер. Для регуляції вологості в сушильній камері використовують витяжки.

2 - СПОСОБИ СУШІННЯ ДЕРЕВИНИ

2.1 Способи сушіння деревини

Класифікація способів сушіння ґрунтується на особливостях передачі тепла матеріалу, який висушується, і за цією ознакою можна виділити наступні види сушіння: конвективний, кондуктивний, радіаційний, електричний, акустичний. У таблиці 2.1 наведено види і способи сушіння деревини.

Практична мета всіх видів сушіння зводиться до мінімуму кінцевої вологості деревини.

Вибір способу сушіння, устаткування і організація процесу залежать від безлічі факторів, як технологічного, так і місцевого значення. Основні фактори з цілим рядом конкретних показників наступні:

- вимоги до якості та обсягу матеріалів, які висушуються;
- забезпечення енергоносіями;
- склад комплектації устаткування;
- умови розміщення сушильних камер;
- фінансові можливості підприємства;
- забезпечення кадрами та ін.

Таблиця 2.1 – Види і способи сушіння деревини

Вид сушіння	Сушильні агенти	Спосіб сушіння	Основні особливості процесів
Конвективно-атмосферне	Повітря	На корені	Сушка з використанням несучої сили крони живого дерева
	Повітря	Атмосферне	Сушіння на відкритих площадках під навісами
Конвективно-тепловий	Повітря, газ, водяна пара і його суміші	Газопарові	Сушіння в нагрітому газовому середовищі при атмосферному тиску
		Ротаційний	Газопарове сушіння з використанням відцентрового ефекту
	Вакуум	Вакуумний	Сушіння у вакуумі
	Рідини	У рідинах	Сушіння з використанням нагрітих рідких сушильних агентів
Кондуктивний	Повітря	Кондуктивний	Сушіння з передачею тепла матеріалу за допомогою теплопровідності при контакті з нагрітими поверхнями
Радіаційний	Повітря	Радіаційний	Сушіння передачею тепла матеріалу випромінюванням
Електричний	Повітря	Діелектричний	Сушіння в електромагнітному полі ТВЧ або СВЧ з передачею тепла матеріалу за рахунок діелектричних втрат
		Індукційний	Сушіння в електромагнітному полі промислової частоти з передачею тепла матеріалу всередині штабеля від феромагнітних полів що нагрівають індуктивними струмами.

2.2 Сушіння деревини в рідинах

Вона відбувається, наприклад, в петролатум. (петролатум - густий, мазеподібний продукт переробки нафти солом'яно-жовтого кольору, з температурою плавлення 56 ° С і температурою спалаху 250 ° С). Сира деревина

опускається у ванну з деяким маслянистим речовиною, яке нагрівають до температури 100°C . Пар, який утворюється при кипінні води в деревині, має пружність більше атмосферного тиску. Тому, долаючи опір масла, в якому знаходиться деревина, він буде намагатися вийти на повітря.

На цьому фізичному явищі заснований спосіб сушіння дерева ємностями з петролатумом. Очищене високов'язке масло і відходи від хімічної переробки нафти - суміш парафінів і цероз, такий склад петролатуму. При сушінні дерева в петролатумі, температура якого 120° - 130° , процес здійснюється в 5-7 разів швидше, ніж в сушильних камерах. Однак, у цього способу є один великий недолік.

Це проникнення петролатуму в деревину. Це веде до того, що забруднена петролатумом деревина погано піддається механічній обробці, її складно склеїти і неможливо провести якісну обробку лаком. Через це сушку в рідинах застосовують тільки в тому випадку, якщо не потрібно подальша механічна обробка дерева. Зазвичай таку сушку використовують дрібні підприємства, що випускають шпали і деталі для інженерних споруд. Шар масла, який просочує дерево, іноді буває дуже корисний, адже він захищає деревину від намокання.

2.3 Спосіб випарювання

Спосіб випарювання або запарювання використовували на Русі ще з давніх часів. Заготівки розпилюють на частини з урахуванням розміру майбутнього виробу, закладають в звичайний чавун, підсипають тирсу з такої ж заготівлі, заливають водою і ставлять на кілька годин в протоплену і остигаючу російську піч "нудитися(томиться)" при $t = 60-70^{\circ}\text{C}$. При цьому відбувається "вилуговування" - випарювання деревини; з заготівлі виходять природні соки, дерево забарвлюється, набуваючи теплий густо-шоколадний колір, з яскраво вираженим природним малюнком текстури. Така заготовка легше обробляється, а після закінчення сушіння менше розтріскується і коробиться.

2.4 Конденсаційний спосіб сушіння

За принципом дії конденсаційний спосіб відноситься до замкнутого циклу, тобто сушильний агент робить циркуляцію по камері без викидів в атмосферу і, відповідно, без підживлення свіжим повітрям. Повітря, насичене вологою відібраної з деревини, змочує холодну поверхню і охолоджується до температури нижче точки роси. Частина вологи, яка міститься в повітрі, конденсується, а теплота, виділена при цьому, використовується для підігріву сушильного агента. Як охолоджувач використовується фреон.

Теоретично конденсаційний сушильний цикл з холодильником, який грає роль теплового насоса, характеризується нульовою витратою тепла на випаровування вологи. Витрати електроенергії тут йдуть на прогрів матеріалу і тепловтрати, а також на привід компресора і вентиляторів. Для компенсації теплових втрат агрегат забезпечується додатковим калорифером із зовнішнім електроживленням.

За даними закордонних фірм Hildebrand, Brunner, Vanicek енергоспоживання конденсаційних сушарок складає 0,25 ... 0,5 кВт * год на 1 кг випаровується води в залежності від вологості матеріалу, збільшуючись при її зниженні. Це приблизно в два рази менше витрати енергії в звичайних збірно-металевих камерах періодичної дії.

2.5 Атмосферне сушіння

Деревину для атмосферної сушки укладають в штабелі, а агентом сушіння є повітря. Температура, вологість і швидкість руху повітря в процесі атмосферної сушки мають таке ж значення, як і при камерній. Однак при атмосферній сушці стан повітря майже не піддається управлінню, так як залежить від кліматичних умов даної місцевості, пори року і погоди. Протягом доби параметри повітря також змінюються: вдень повітря нагрівається і стає сухішим, а вночі охолоджується і зволожується. Стан повітря в штабелі, крім того, залежить від щільності укладання матеріалу. Чим щільніше укладені пиломатеріали, тим нижче температура повітря в штабелі вище його відносна вологість. Тому

відповідним просторовим розміщенням деревини в штабелі(рис.2.1) можна в деякій мірі впливати на інтенсивність її висихання.



Рисунок 2.1 – атмосферне сушіння

Переваги атмосферної сушки деревини.

Це найдавніший і найпростіший спосіб сушіння деревини. Він проводиться на відкритому повітрі під навісом. Атмосферна сушка дозволяє знизити вологість деревини до 18-22%. Тривалість сушіння залежить від температури і вологості повітря, пори року, породи і перерізу матеріалу, початкової і кінцевої його вологості, способу укладання:

- *простота організації і проведення процесу сушіння,*
- *відсутність витрат теплоти на підігрів повітря і матеріалу.*
- *залишкові напруги при атмосферній сушці значно менше, ніж при камерній.*

Крім того, за рахунок поєднання природних умов з правильним вибором місця для складу і раціональним його використанням, регулювання щільності укладки матеріалу, захисту торців дощок від розтріскування можна домогтися цілком задовільних результатів.

Недоліки атмосферного сушіння деревини.

- *мала інтенсивність і, отже, велика тривалість процесу.*
- *для розміщення деревини, що проходить атмосферну сушку, потрібні великі площі складів.*

- при атмосферній сушці, так само як і при камерній, дошки можуть розтріскуватися і коробитися

Атмосферне сушіння деревини знаходить застосування на лісопилно-деревобробних підприємствах, особливо при сезонному відвантаженні пиломатеріалів. Правила атмосферного сушіння пиломатеріалів хвойних порід регламентуються ГОСТ 3808.1-80, твердих листяних порід - ГОСТ 7319-80.

2.6 Камерне і атмосферно-камерне сушіння

Воно є найбільш поширеним способом сушіння деревини. Джерелом теплоти для сушіння в камерах може бути пар, що надходить з парового котла, або топкові гази, одержувані від спалювання палива в спеціальних топках. Пар, що обігріває камеру, подається в систему металевих труб, так звані калорифери. За типом середовища, що висушується, сушильні камери(рис.2.2) ділять на пароповітряні і газові.



Рисунок 2.2 – камерне сушіння

За допомогою нагрівального приладу підвищується температура повітря в камері.

Для подачі тепла безпосередньо до висушувального матеріалу використовується природній або примусовий рух пари (газу), зване циркуляцією.

За способом циркуляції розрізняють камери з природною циркуляцією, де рух пари через штабель відбувається за рахунок різних питомих ваг більш і менш нагрітих частинок повітря, і камери з примусовою циркуляцією, де рух пара відбувається за допомогою вентиляторів(рис.2.3).

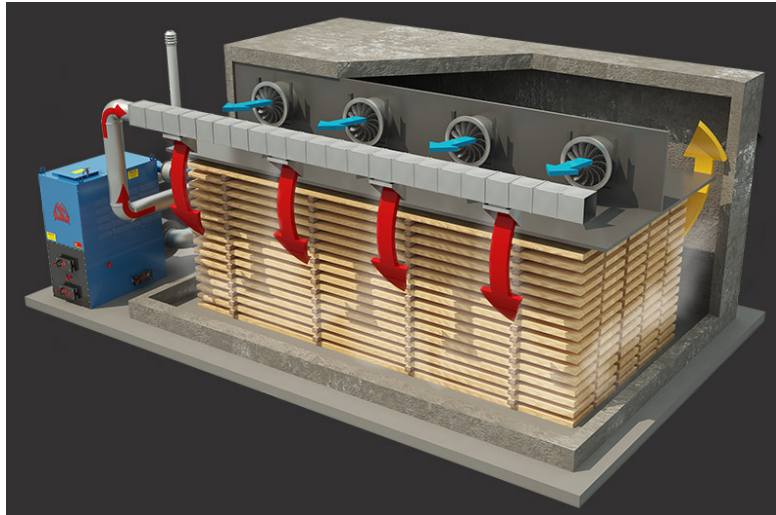


Рисунок 2.3 – Спосіб циркуляції повітря

Нагріте повітря, підганяється вентилятором або шляхом природної циркуляції, віддає тепло вологій деревині і одночасно забирає з висушуваного сортименту вихідну у вигляді пари вологу. Якщо повітря в камері дуже сухе або відносна вологість занадто низька, то процес сушіння буде протікати дуже швидко і може викликати пошкодження деревини, наприклад утворення тріщин. За допомогою розпилювального обладнання можна встановити бажану відносну вологість повітря в камері.

Повітря в залежності від температури може прийняти тільки певну кількість водяної пари. При сушінні температура не змінюється. Для підтримки процесу сушіння необхідний постійний приплив свіжого повітря, так званого сухого повітря, через припливний клапан в сушильну камеру. В цей час повітря, збагачене водяними парами, так зване вологе повітря, через витяжний клапан відводиться назовні. Конвекційне сушіння з цієї причини також позначається як припливно-витяжне сушіння. Конвекція в даному випадку означає підведення і видалення.

Залежно від режиму роботи розрізняють сушильні камери періодичної і безперервної дії. В камерах періодичної дії завантаження сирого і вивантаження сухого матеріалу відбуваються з одного кінця камери.

У камерах безперервної дії сирий матеріал завантажується на одному кінці камери (сиром), а сухий - вивантажується на іншому (сухому). Температура і вологість сушильного агента в камері змінюються від сирого кінця до сухого: температура підвищується, а відносна вологість зменшується.

Сушіння для пиломатеріалів бувають різних розмірів:

маленькі сушіння для об'єму деревини приблизно від 0,5 до 6,0 м³,

середні сушіння для об'єму деревини приблизно від 10 до 40 м³,

сушіння для великого об'єму деревини приблизно від 100 до 200 м³.

Залежно від температури повітря сушіння поділяють на низькотемпературні, нормальні і високотемпературні.

Низькотемпературне сушіння: деревина висушується при температурі нижче 45 ° С. Процес сушіння триває повільніше, деревина висушується дбайливіше і без напруги (так зване м'яка сушіння). Цей метод застосовується для товстої, важко непіддатливою сушінню і схильною до зміни кольору деревини. Значення кінцевої вологості становить приблизно 20%, тобто мова йде про попереднє підсушування.

Сушіння при нормальній температурі: температура повітря в сушильній камері лежить в інтервалі від 45 до 90 ° С. Цей діапазон температур підходить для деревини хвойних порід і для легко сохнуть листяних порід. Початкова вологість не обмежена. Цим методом деревину можна висушувати до досягнення кінцевого значення вологості.

Високотемпературне сушіння: температура повітря в сушильній камері лежить в інтервалі від 100 до 130 ° С. При такій швидкій і різкій сушці існує небезпека виникнення пошкоджень деревини, наприклад утворення тріщин усушки, зміни кольору і т.д. Цей метод застосовується для деревини хвойних порід. Багато листяні породи, наприклад дуб і бук, можуть висушуватися при високих температурах починаючи з рівня вологості деревини менше 30%.

Камерне сушіння складається з наступних основних етапів:

- підготовки сушильної камери;
- підготовки матеріалу;
- сушіння матеріалу;
- вивантаження і витримки в охолоджувальному приміщенні;
- контролю вологості матеріалу.

Перевагами камерного сушіння є

- можливість висушування матеріалу до необхідної вологості (нижче 18-20%);
- здійснення постійного контролю і можливість регулювання процесу сушіння (причому для кожної породи можна підбирати найвигідніший режим), економія часу для підготовки деревини до обробки і скорочення виробничих площ;
- термін сушіння значно коротше атмосферного сушіння; для зберігання лісоматеріалів потрібні менші площі;
- можна захищати матеріали від зараження гниллю і синявою в процесі сушіння. Гаряче і вологе повітря (з температурою 60 ° і вище) знищує суперечки і гіфи грибів, а також личинки жуків точильників.

До недоліків камерного сушіння слід віднести:

- необхідність значних витрат на обладнання сушарок і велика витрата тепла на нагрівання повітря.

2.7 Ротаційний спосіб сушіння

Використання відцентрової сили лежить в основі ротаційного сушіння. На карусель, встановлену всередині опалювального приміщення, укладається штабель матеріалів, розділений прокладками. Відцентрова сила, спрямована уздовж дошок, створювана при обертанні каруселі(рис.2.4), змушує вільну вологу пересуватися з внутрішньої частини деревини до її торців і зовнішніх поверхонь. Завантажений пиломатеріал просихає в терміни коротші, ніж при сушці в камері.

Відбувається це тому, що при обертанні створюється активний направлений рух гарячого повітря всередині штабеля дошок. Потужність приводу вентилятора значно більше потужності приводу каруселі, у якій вона абсолютно незначна. Громіздка конструкція і незручне блокування не дає застосовувати карусельні камери в промисловості.



Рисунок 2.4 – Ротаційна сушарка

2.8 Вакуумний спосіб сушіння

Вакуумні сушильні камери(рис.2.5) - це не особливо поширений тип сушильних камер. Технологія сушіння передбачає, що для прискорення процесу створюється вакуум, таким чином, з'являється необхідна для сушіння деревини енергія. Вакуумна сушильна камера багатофункціональна і універсальна, в ній можна сушити пиломатеріал за будь-якої категорії якості і швидше, ніж в інших сушильних камерах.



Рисунок 2.5 – Вакуумна сушарка

Крім того, в вакуумних сушильних камерах можна сушити круглі колоди без утворення зовнішніх і внутрішніх тріщин, можна змінювати колір деревини, просочувати пиломатеріал хімічними складами, надавати пиломатеріалу будь-яку криволінійну форму і закріплювати її без порушення структури дерева. Технологія сушіння деревини в вакуумних сушильних камерах об'єднує принципи сушіння всіх класичних сушильних камер і сучасні технології. Вакуумна сушка деревини, відбувається в сушильних камерах з попередніми витяганням повітря (створенням вакууму). У процесі сушіння деревини під дією градієнтів вологості, температури і тиску відбувається рівномірний рух вільної і зв'язаної вологи від центру до поверхні. М'які температурні режими - від 45°C до 62°C - і розрідження повітря сприяють рівномірній зміні тепло-вологісних характеристик деревини

Сухі верхні клітини деревини вбирають вологу від вологих, розташованих в серцевині дошки. Вакуумний метод забезпечує рівномірну сушку, в процесі якої усуваються внутрішні напруги, а отже, значно знижується ймовірність викривлення або виникнення тріщин.

2.9 Контактна сушка

Їй піддаються плоскі матеріали у формі листів, котрі тримаються між двома нагрітими до температури 150°C металевими плитами(рис.2.6). Основна перевага полягає в тому, що сушка протікає протягом декількох хвилин. Таким способом висушують тонкі деревні матеріали - шпон, фанеру; при цьому обсяги матеріалу, як правило, невеликі. Вологість - 10-12%. Недоліком такого способу є відносно потемніння деревини зовні при надмірній витримці.

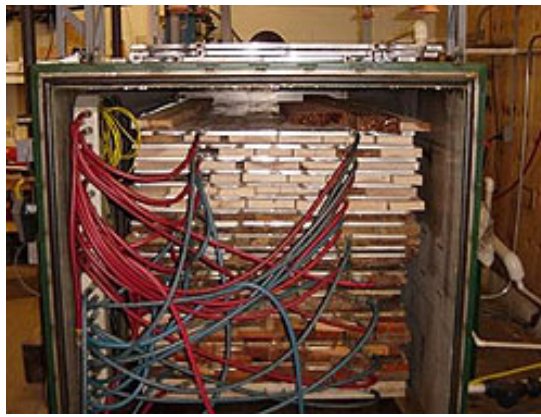


Рисунок 2.6 – Контактна сушка

2.10 Сушка в електричному полі струмів високої частоти (СВЧ)

Висока інтенсивність відрізняє сушку в електричному полі струмів високої частоти (СВЧ). Сушка заснована на нагріванні деревини між двома або кількома металевими пластинами, підключеними до джерела СВЧ. Пластини і розміщена між ними деревина утворюють конденсатор, в якому діелектриком є деревина. Електричне поле часто змінює свій знак, в результаті чого в пиломатеріалі виникають діелектричні втрати, дерево є поганим провідником електрики, внаслідок чого деревина нагрівається і з неї випаровується волога.

В процесі СВЧ-сушіння волога з деревини видаляється випаровуванням(рис.2.7). Якщо пароутворення у вологому матеріалі відбувається при температурі вологи дорівнює або вище 100 С, процес сушіння називають випаровуванням, а при температурі нижче 100 С процес називається випаром. СВЧ-сушіння деревини відбувається в середовищі перенасиченого пара і деревина від початку і до кінця знаходиться в пропареному стані.



Рисунок 2.7 – СВЧ сушіння

У способі сушіння СВЧ матеріал прогрівається дуже швидко, і волога випаровується моментально. З усіх способів, які застосовуються при сушінні дерева - це найдорожчий, з огляду на сучасні відпускні ціни на електрику. Так само для нього потрібно непросте обладнання(рис.2.8) і через це його не застосовують під промисловості.



Рисунок 2.8 – Камера СВЧ

2.11 Радіаційна сушка

Радіаційна сушка заснована на подачі тепла до деревини від дуже сильно нагрітого тіла прямим випромінюванням. Електричні лампи або плити (вони можуть бути чавунні або керамічні) нагріваються до червоного розжарювання, саме вони служать джерелами тепла. Створюється потік інфрачервоних променів, які створює промениста теплота. Так як він поширюється прямолінійно, то затримується різними екранами і тілами, що зустрічаються на шляху потоку.

Променева теплота може висушити тільки ті частини предметів, які безпосередньо опромінюються з боку джерела тепла. Промениста теплота з легкістю проникає в дерево на глибину 10-12 мм, це доведено дослідженнями радянських вчених. Можна зробити висновок, що прогріваючи дошки хвойних порід товщиною 20-25 мм з обох сторін, їх можна висушити протягом короткого часу.

Камерна сушка деревини в десятки разів повільніше. Але при цьому дошки повинні сушитися у вільному, а не в затиснутому стані, що призводить до

їх обов'язкового викривлення. Саме це є основною перешкодою застосування радіаційного сушіння деревини.

2.12 Контроль за вологістю деревини і внутрішніми напруженнями в процесі сушіння

Контроль вологості деревини в процесі сушіння в даний час проводять способом контрольних зразків. Контрольний зразок довжиною 1-1,2 м відпилюють від дошки, характерної для партії пиломатеріалів, яка завантажується в сушильну камеру. Одночасно випилюють дві суміжних з зразком секції вологості (рисунок 2.9). Відразу ж після розпилювання секції очищають від тирси і задирок і зважують на технічних вагах. Потім визначають їх вологість. Середнє значення вологості, обчислене по двох секціях, беруть за початкову вологість ($W_{п}$) контрольного зразка.

Контрольний зразок нумерують, торці його очищають і покривають густотертою масляною фарбою. Після цього зважують на торгових вагах з похибкою до 5 м Початкову масу ($M_{п}$) записують на зразку і в журналі або картці сушки. У кожен сушильний штабель закладають два-три контрольних зразка в місця інтенсивного й уповільненого сушіння.

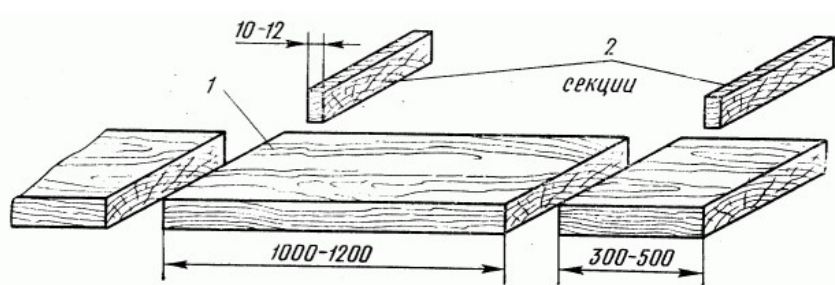


Рисунок 2.9 – Схема випилювання контрольних зразків

1 - контрольний зразок, 2- секції вологості

Зразки розташовують поряд з торцем штабеля або трохи глибше, але так, щоб їх легко можна було вийняти. Вони повинні лежати на прокладках, не стикаючись з площиною дощок. Над зразками укладають спеціальні прокладки з вирізом (рисунок 2.10).

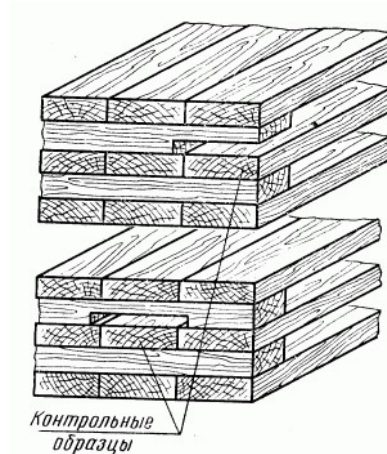


Рисунок 2.10 – Схеми розміщення контрольного зразка в штабелі

За відомим величинам початкової вологості і початкової маси розраховують масу абсолютно сухого контрольного зразка:

$$M_{\text{СУХ}} = \frac{M_{\text{П}} \cdot 100}{W_{\text{П}} + 100} \quad (2.1)$$

Таким чином, його вага в абсолютно сухому стані відома перед початком сушіння.

У процесі сушіння через певні проміжки часу зразки виймають з штабеля і зважують.

Поточну вологість W_T зразків знаходять за виразом:

$$W_T = \frac{M_T - M_{\text{СУХ}}}{M_{\text{СУХ}}} \cdot 100 \quad (2.2)$$

де M_T – маса зразка в момент визначення поточної вологості, г.

При сушіння тонких пиломатеріалів хвойних порід контроль вологості проводять в початковій стадії процесу через 8 годин, а в кінцевій - через 12 годин. Для пиломатеріалів підвищеної товщини або листяних порід проміжки часу між зважуваннями збільшують в 1,5-2 рази.

2.13 Якість сушіння пиломатеріалів. Закінчення процесу сушіння

Якість сушіння пиломатеріалів характеризується рядом показників, основними з яких є:

- видимі дефекти сушіння;
- середня величина кінцевої вологості;
- рівномірність кінцевої вологості;
- перепад вологості по товщині;
- залишкові напруги.

Показники якості сушки встановлюються щодо певної партії деревини. За таку партію звичайно приймають штабель дошок або заготівок.

Спочатку розглянемо перший показник - видимі дефекти сушіння. У висушеному матеріалі незалежно від його призначення видимі дефекти не допускаються.

До видимих дефектів деревини, які можуть з'явитися при її сушінні, відносяться розтріскування і викривлення. На практиці зустрічається зовнішнє, внутрішнє, торцеве і радіальне розтріскування.

Зовнішні тріщини утворюються в матеріалі в початковий період сушіння, коли діючі на поверхні розтягувальні напруження, перевищують кордон міцності. Причина утворення зовнішніх тріщин - занадто жорсткий режим сушіння, а міра попередження - застосування більш раціонального режиму.

Внутрішні тріщини можуть з'явитися в кінці процесу, якщо в центрі сортименту виникли надмірно великі напруги, які розтягують. Щоб попередити їх утворення, необхідно дотримуватися режиму сушіння і проводити проміжну і кінцеву вологотеплообробку.

Виникнення торцевих тріщин зумовлене більш інтенсивним сушінням торців у порівнянні із середньою частиною сортименту. Найбільш ефективний засіб попередження цього дефекту - замазування торців вологонепроникною сумішшю. Через велику трудомісткість цей захід при масовому сушінні не застосовується.

Правильне розташування пиломатеріалів в штабелі, зокрема вирівнювання торців штабеля, розміщення крайніх прокладок рівно з торцями дошок,

формування повногабаритного штабеля, значно знижує торцеве розтріскування. Торцеві тріщини в цьому випадку бувають неглибокими і при поперечному розкрої пиломатеріалів втрати будуть незначними.

Радіальні тріщини виникають при сушінні круглих лісоматеріалів і пиломатеріалів, які містять серцевину трубку. Причина їх утворення - різний усихання в радіальному і тангенціальному напрямках. Попередити їх появі при камерній або атмосферній сушках неможливо навіть при самому обережному і повільному проведенні процесу. Щоб уникнути цього дефекту, при розкрої пиломатеріалів варто вирізати серцевину або стежити, щоб вона перебувала на поверхні.

Викривлення пиломатеріалів, в процесі сушіння, відбувається також через різне усихання в радіальному і тангенціальному напрямках. У дошок тангенціального розпилювання незалежно від режиму сушіння усадка зовнішнього шару (щодо центру колоди) буде при сушінні більше, ніж усадка внутрішнього шару. Це призводить до вигину (викривлення) дошки в поперечному напрямку (рисунок 2.11). Дошки радіального розпилювання не коробляться. Різниця усушки деревини вздовж і поперек волокон викликає поздовжнє короблення. Для того, щоб запобігти поперечне і поздовжнє короблення дошок, їх варто сушити в затиснутому стані, дотримуватись правил формування штабеля (укладати в один ряд дошки строго однакової товщини, застосовувати стандартні стругані прокладки, кожен ряд яких повинен знаходитися в одній вертикальній площині). В цьому випадку плоска форма дошок в штабелі фіксується масою самої деревини, за винятком верхніх двох-трьох рядів. У верхньому ряду варто укладати дошки радіального розпилювання або матеріал не відповідає призначення. Таким чином, короблення дошок при сушінні виникає тільки при неправильному і недбалому укладанні, але не є наслідком неправильно обраного режиму сушіння. Відхилення ж від раціонального режиму може привести до утворення тріщин. W_{CP}

Середня величина кінцевої вологості контрольованої партії визначається таким способом: з штабеля в зонах швидкого й уповільненого просихання

матеріалу відбирають не менше дев'яти дошок, з кожної дошки випилюють дві секції вологості і визначають їх вологість. Вологість партії W_{CP} обчислюють як середнє арифметичне з отриманих значень вологості секцій.

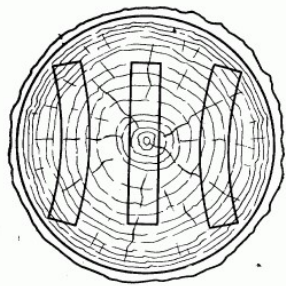


Рисунок 2.11 – Поперечне короблення пошарової пиломатеріалів

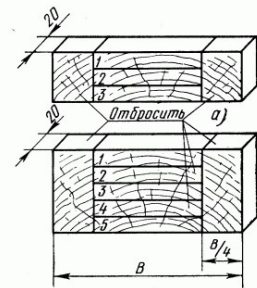


Рисунок 2.12 – Секції вологості

Рівномірність кінцевої вологості. Показником рівномірності вважають середнє квадратичне відхилення, яке обчислюється за формулою:

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (W_i - W_{CP})^2}}{n-1} \quad (2.3)$$

де W_i – вологість окремої секції %;

W_{CP} – середня вологість штабеля %;

n – число секцій вологості.

Фактична вологість окремих дошок штабеля з імовірністю 95% (в 95 випадках з 100) буде знаходитися в межах W_{CP} .

Перепад вологості по товщині контролюють по секціях пошарової вологості, які випилюють з відібраних дошок поруч із секціями для визначення загальної вологості. Секції розколюють за схемами, наведеними на рисунку 2.12: при товщині дошок до 50 мм на малюнку 2.12 а, при товщині 50 мм і більше - на рисунку 2.12 б. Різниця у вологості бічних (зважуваних разом) і середніх смужок показує перепад вологості.

Залишкові напруги в висушеному матеріалі встановлюють по силових секціях, які випилюються поруч з секціями пошарової вологості з кожної відібраної дошки. Можна вважати, що деревина практично вільна від залишкових напружень, якщо відносне відхилення зубців секції (у вершині) від нормального положення не перевищує 1,5-2% довжини зубця.

Висушена деревина повинна відповідати по якості сушіння своєму призначенню. Призначення деревини різноманітно, і тому різні і вимоги, щодо якості сушіння.

Залежно від цих вимог "Керівними матеріалами з камерної сушки пиломатеріалів" встановлено чотири категорії якості - I, II, III і 0 сушки матеріалів до середньої експлуатаційної вологості готових виробів, при цьому вони повинні забезпечувати:

I категорія - можливість механічної обробки і складання деталей по ГОСТ 6449.1-82 для високоточних деталей виробів (деякі сполуки механіки клавійних інструментів, точне машинобудування, дерев'яні клеєні несучі конструкції, виробництво моделей, лиж і т.п.);

II категорія – механічну обробку і складання деталей за ГОСТ 6449.1-82 для відповідальних складових виробів (меблеве виробництво, футляри для радіо- і телеапаратури, корпусу клавійних інструментів, столярно-будівельні вироби, дерев'яні будівельні конструкції, пасажирське вагону-і автобудування і т.п.);

III категорія – механічну обробку і складання деталей за ГОСТ 6449.1-82 для менш відповідальних складових частин виробів (погонажні столярно-будівельні вироби, товарне вагонобудування, сільгоспмашинобудування, звичайна тара і т.п.);

0 (нульова) категорія – передбачається сушка пиломатеріалів в тому числі експортних, до транспортної вологості.

Необхідна величина середньої кінцевої вологості деревини після сушіння коливається для різних виробів в широких межах і регламентується стандартами і технічними умовами. Наприклад, для меблів вона складає 7-8%, для столярно-

будівельних виробів 10-12%, для тари 15-20%. Норми вимог до інших показників якості регламентуються Керівними матеріалами.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

3.1 Опис технологічного процесу і обладнання

Першочергове завдання автоматичного регулювання процесу сушіння - стабілізація режиму сушіння. Для цього встановлюються регулятори, які повинні забезпечити підтримку заданих, по режиму температури і відносної вологості на певному рівні. У більшості випадків для цієї мети використовуються стандартні регулятори. Тип регулятора, установку регулятора і параметри настройки вибирають з урахуванням статичних і динамічних властивостей сушильних камер і вимог, які висуваються до системи регуляції.

Динамічні характеристики визначають з диференціальних рівнянь об'єктів - рівняння зв'язку між його вхідними і вихідними величинами або експериментально, коли ці рівняння отримати важко. Визначати динамічні характеристики дослідним шляхом можна при автоматизації діючих установок.

При необхідності визначити динамічні параметри об'єктів регулювання в процесі їх проектування застосовуються тільки аналітичні методи. Можливість визначити динамічні характеристики установки по її технологічним і конструктивним параметрам дозволяє не тільки вирішувати завдання автоматичного регулювання, а й в деяких випадках впливати на конструкцію установки. При цьому можна використовувати отримані результати для подібних об'єктів інших типів. Сукупність аналітичних і експериментальних методів дослідження динамічних властивостей об'єкта дозволяє більш достовірно визначити його параметри.

Розглянемо лісосушильними камеру як об'єкт регулювання температури агента сушіння.

Основними фізичними величинами, що характеризують сушку, можна вважати температуру і вологовміст основних елементів, що входять до складу сушильної установки. До основних елементів відносять висушуваний матеріал, середа робочого простору сушильної установки і огорожі.

На підставі сказаного вище можлива побудова розрахункової схеми об'єкта управління (Рис.3.1). При складанні розрахункової схеми в даній роботі зроблені наступні припущення.

Сушильну установку розглядають як об'єкт із зосередженими параметрами. Зосередженість параметрів передбачається на підставі того, що нерівномірність температурного поля при інтенсивній циркуляції сушильного агента становить не більше 5%, а динаміка установки описується звичайними диференціальними рівняннями з постійними коефіцієнтами

Динамічні характеристики об'єкта управління стаціонарні у часі. Параметри сушильної установки можуть змінюватися, але швидкість цих змін невелика, так як прогрів і сушіння пиломатеріалів відбуваються протягом декількох діб. Тому динамічні властивості об'єкта управління можна вважати постійними протягом інтервалів часу протікання перехідних процесів.

Масообмін матеріалів огорож сушильної установки із середовищем робочого простору відсутній.

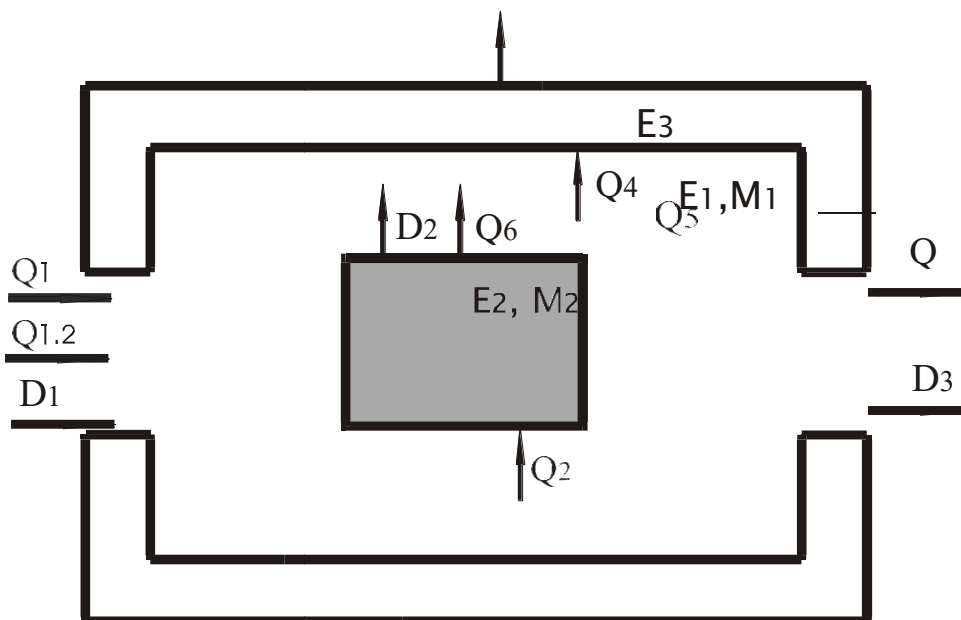


Рисунок 3.1 - Розрахункова схема об'єкта управління

У розрахунковій схемі розглянутих агрегатів в даній роботі враховані такі потоки теплової енергії і вологи

$Q_{1.1}$ - що надходить в агрегат потік теплової енергії через калорифери;

$Q_{1.2}$ - що надходить в агрегат потік теплової енергії через зволожувальні труби;

Q_3 - вихідний з агрегату потік теплової енергії;

Q_5 - потік теплової енергії від огорожі в навколишнє середовище;

Q_4 - потік теплової енергії від середовища робочого простору до огорожі;

Q_2 - потік теплової енергії від середовища робочого простору до матеріалу виробу;

Q_6 - потік теплової енергії, що витрачається випаровуванням вологи з матеріалу виробу;

D_1 - потік вологи, що надходить з енергоносієм;

D_2 - потік вологи, що виходить з матеріалу виробу в середу робочого простору;

D_3 - потік вологи, що виходить з агрегату теплової обробки з відпрацьованим енергоносієм;

E_1 - запас теплової енергії середовища робочого простору;

E_2 - запас теплової енергії матеріалу виробу;

E_3 - запас теплової енергії огорожі;

M_1 - запас вологи в середовищі робочого простору

На основі розрахункової схеми (рис.3.1) і зроблених припущень може бути отримана наступна система рівнянь енергетичних і матеріальних балансів.

1) енергетичний баланс середовища робочого простору

$$\frac{dE_1}{d\tau} = Q_{1.1} + Q_{1.2} - Q_2 - Q_4 - Q_3 - Q_6;$$

2) матеріальний баланс середовища робочого простору

$$\frac{dM_1}{d\tau} = D_1 + D_2 - D_3;$$

3) енергетичний баланс матеріалу виробів

$$\frac{dE_2}{d\tau} = Q_2 + Q_6;$$

- 4) матеріальний баланс матеріалу виробів

$$dM_2/d\tau = -D_2;$$

- 5) енергетичний баланс матеріалу огорожі

$$dE_3/d\tau = Q_4 - Q_5;$$

- 6) матеріальний баланс матеріалу огорожі

$$dM_3/d\tau = 0;$$

Виходячи із зроблених припущень і припущень, структура потоків теплової енергії та вологи може бути представлена схемою, показаної на рис. 3.2

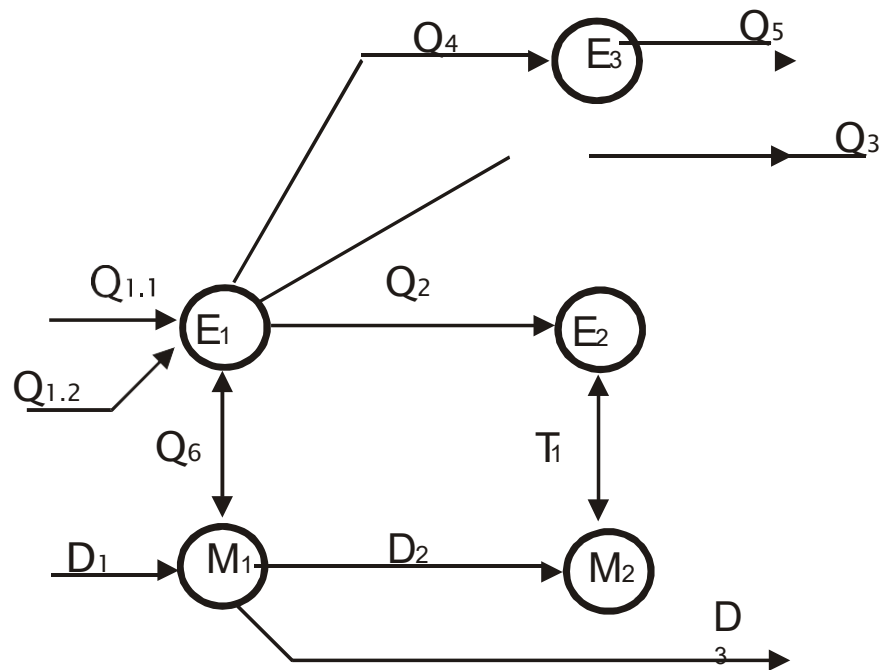


Рисунок 3.2 - Схема структури потоків теплової енергії і вологи

Оскільки розглянута сушильна установка аналогічна сушильній установці, представленої в роботі Редіна Івана Васильовича, в якій вирішується дана задача наступним чином.

На основі наведеної вище системи рівнянь розроблена математична модель сушильної камери по температурі середовища робочого простору представлена наступною передавальною функцією:

$$W_0 = \frac{0,79(0,113p + 1)}{0,0089p^2 + 0,28p + 1}$$

Експериментально перевірена математична модель сушильної камери по температурі мокрого термометра середовища робочого простору представлена наступною передавальною функцією:

$$W'_0(p) = \frac{0,1445p + 1}{0,007p^2 + 0,28p + 1}$$

Виходячи з наведеного вище можлива побудова системи автоматичного управління процесом сушіння пиломатеріалів по каналу енергоносій - температура середовища робочого простору в наступному вигляді (рис.3.3).

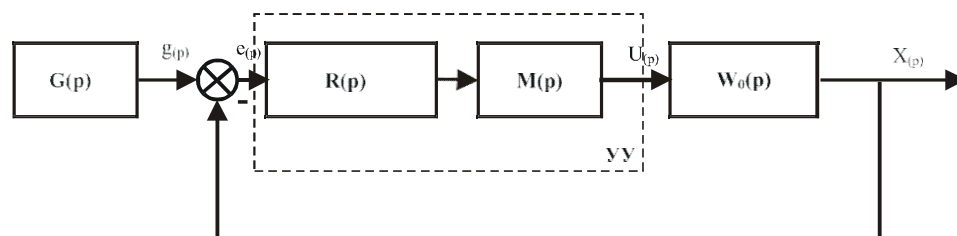


Рисунок 3.3. - Традиційна структурна схема системи автоматичного управління процесом сушіння пиломатеріалів по каналу енергоносій - температура середовища робочого простору.

З огляду на те, що регульовані параметри - температура сухого і температура мокрого термометра середовища робочого простору, взаємно впливають один на одного, процес сушіння пиломатеріалів є зв'язковим об'єктом управління.

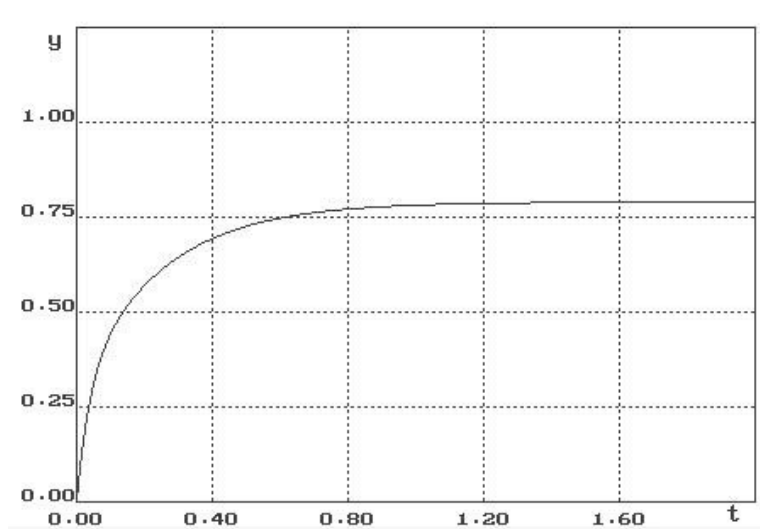


Рисунок 3.4 - Перехідна функція об'єкта управління

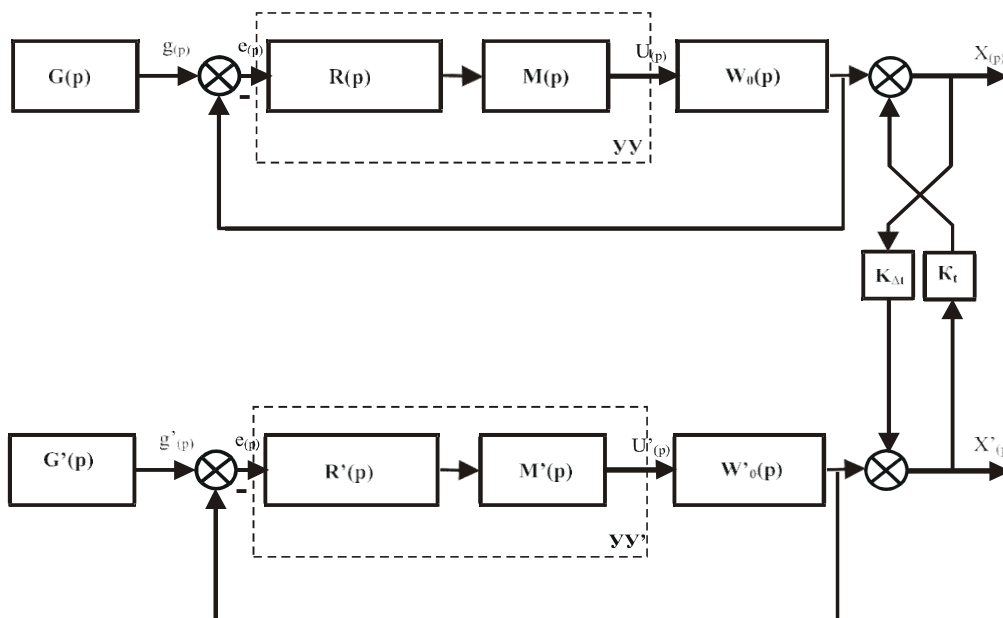


Рисунок 3.5 - Структурна схема системи автоматичного управління процесом сушіння пиломатеріалів по каналах енергоносій - температура середовища робочого простору і енергоносій - температура мокрого термометра середовища робочого простору »

Виходячи з взаємозалежності температури і температури мокрого термометра середовища робочого простору система автоматичного управління процесом сушіння по каналах енергоносій - температура середовища робочого простору і енергоносій - температура мокрого термометра середовища робочого простору може бути представлена структурною схемою, показаної на рис. 3.5.

Дану систему також можна представити у зміненому вигляді (рис. 3.6)

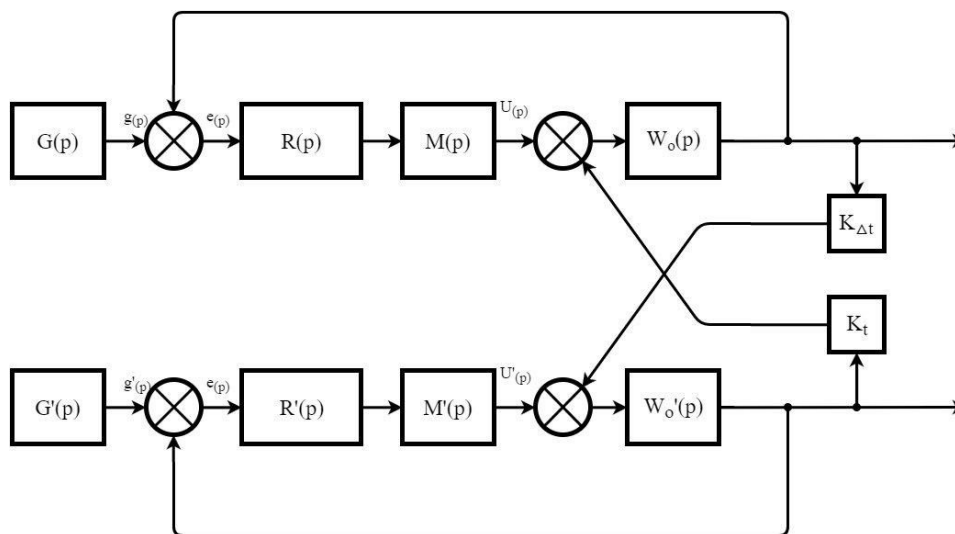


Рисунок 3.6 - Альтернативний вид структурної схеми системи автоматичного керування процесом сушіння пиломатеріалів по каналах енергоносій - температура середовища робочого простору і енергоносій - температура мокрого термометра середовища робочого простору

Якщо система представлена в такому вигляді, це дає нам право говорити про те, що вплив мокрого термометра на сухий зводиться до перешкоди, таким чином, показання мокрого термометра є перешкодою для сухого, і навпаки. В такому випадку, щоб компенсувати вплив перешкоди, необхідно спроектувати самонастроювальну систему (рис.3.7)

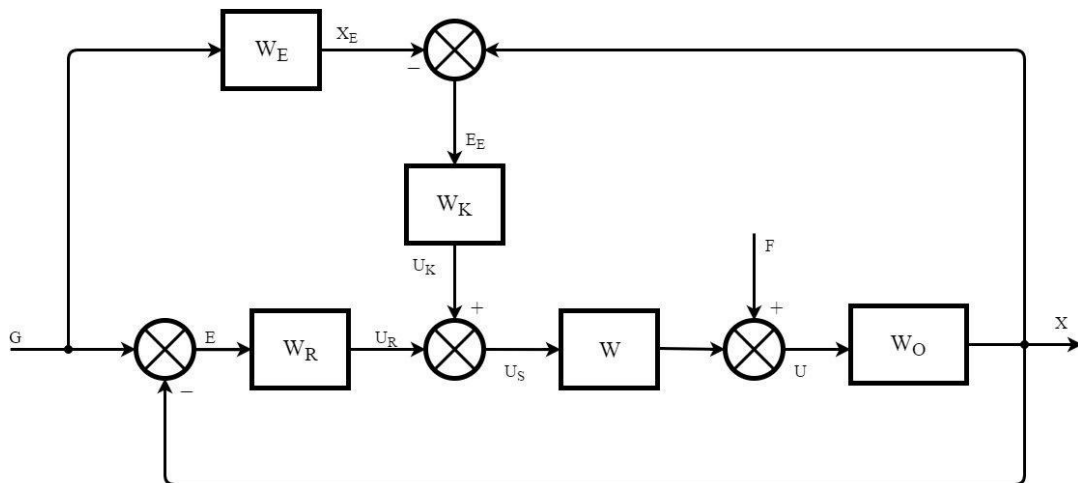


Рисунок 3.7 - Структурна схема безпошукове самонастроювальною системи автоматичного управління сушіння пиломатеріалів з еталонною моделлю

Підвищення точності, якості і загальної ефективності діючих і проєктованих систем автоматичного управління в багатьох випадках досягається за рахунок використання компенсаційного принципу управління по відхиленню регульованої величини або по обуренню.

В процесі вдосконалення систем були розроблені різні способи підвищення їх точності і якості динамічних властивостей. Один із способів полягає в належній корекції звичайних лінійних систем. Однак прагнення створити систему, максимально близьку до лінійної, вимагає необґрунтовано високої якості виготовлення її елементів.

Висока швидкодія та точність досягаються підвищенням коефіцієнта передачі системи, при цьому всі в більшій мірі проявляється вплив нелінійностей і знижується запас її стійкості. Це накладає суттєві обмеження на коефіцієнт передачі системи, а, отже, на точність і швидкодію системи.

Численні роботи були виконані зі створення нелінійних коригувальних пристроїв, наприклад, по програмованій корекції деяких параметрів для компенсації зміни характеристик системи, яке відбувається внаслідок зміни навколишніх умов. У деяких системах передбачається зміна характеру їх роботи в залежності від величини вхідного сигналу помилки, наприклад, при великих

сигналах помилки система працює як релейний, а при малих помилках як пропорційна лінійна система.

Такого роду системи мають властивість пристосування, але підстроювання їх параметрів здійснюється по розімкненому циклу, що й обумовлює обмежені можливості цих систем для досягнення високої якості.

На рис. 3.7 приведена схема самоналаштовуваної системи з додатковим лінійним зворотним зв'язком. У цій системі порівнюється сигнал на виході замкнутого контуру управління X з вихідним сигналом еталонної моделі X_E . Сигнал неузгодженості, перетворений коригуючим пристроєм W_E , використовується для компенсації відхилень динамічних характеристик системи від поставлених еталонною моделлю.

Передавальна функція системи має такий вигляд:

$$W_G(p) = \frac{X(p)}{G(p)} = [W_R(p)W_o(p) + W_E(p)W_k(p)W_o(p)]/[1 + W_R(p)W_o(p) + W_k(p)W_o(p)]$$

При досить великому коефіцієнті передачі коректує зв'язку ($W_k(p) = K$) передавальна функція системи по задає впливу $W_c(p) \approx W_e(p)$. У цій системі з додатковим лінійним зворотним зв'язком можна отримати незалежні один від одного передавальні функції по заданому і по обуреному впливу. Це легко показати, якщо розглянути рівняння системи. На підставі схеми можна записати

$$W_{CF}(p) = \frac{X(p)}{F(p)} = W_o(p)/[1 + W_R(p)W_o(p) + W_k(p)W_o(p)]$$

З урахуванням виразів рівняння руху системи можна записати в наступному вигляді.

$$X(p) = W_{CG}(p)G(p) + W_{CF}(p)F(p)$$

При досить великому коефіцієнті передачі коректує зв'язку ($W_k(p)$) рівняння набуває вигляду:

$$X(p) \approx W_E(p)G(p) + \left[\frac{1}{W_K}(p)\right]F(p)$$

Тобто передавальні функції по обуреному $F(p)$ і керуючому $G(p)$ впливів незалежні один від одного. Крім того, вплив обурює впливу на вихідний сигнал системи сильно ослаблене, так як $W_k(p) = K = 10^n$ велике.

У розглянутій системі (рис. 3.7) додатковий вплив U_K формується на основі неузгодженості ($E_E = X - X_E$) реакцій об'єкта управління (X) і еталонної моделі (X_E).

Застосування різних видів регулюючих пристроїв, що реалізують різні закони управління об'єктами - (П) пропорційний, (ПІ) пропорційно-інтегральний, (ПІД) пропорційно-інтегрально- диференційний, засноване на прагненні досягнення відповідності бажаному перехідному процесу системи автоматичного управління процесом сушіння пиломатеріалів. Визначення параметрів обраного типу регулюючого пристрою також реалізується виходячи і бажаних показників якості перехідного процесу і стійкості системи автоматичного управління.

Вибір типу регулюючого пристрою і визначення його параметрів здійснюється дослідно-аналітичним шляхом на базі апріорних і апостеріорних уявлень про об'єкт автоматизації та створюваної або діючої системи автоматичного управління.

Завдяки введенню додаткової корегуючої зворотного зв'язку, рух системи слідує за рухом еталонної моделі. У зв'язку з цим постає питання про визначення виду і налаштувань еталонної моделі і керуючого пристрою.

При виборі інерційного ПІД-регулятора з відповідними настройками за моделлю об'єкта управління можна знизити порядок системи до першого. Для каналу енергоносій - температура сухого термометра передавальна функція має вигляд:

$$W_0 = \frac{0,79(0,113p + 1)}{0,0089p^2 + 0,28p + 1}$$

В цьому випадку передавальна функція регулятора представляється наступним виразом

$$W_R(p) = \frac{(0,0089p^2 + 0,28p + 1)K_R}{0,79(0,113p + 1)p}$$

Тоді передавальна функція системи приводиться до наступного вигляду

$$W_C(p) = \frac{1}{\frac{1}{K_R} * p + 1}$$

Величина K_R вибирається з міркувань допустимої швидкості росту температури сушіння.

Судячи з отриманого результату, в якості еталонної моделі слід вибрати апериодичну ланку з передавальної функцією

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

де $T = \frac{1}{K_R}$

Перехідна функція визначається виразом

$$H_C(p) = \frac{1}{T_p^2 + p}$$

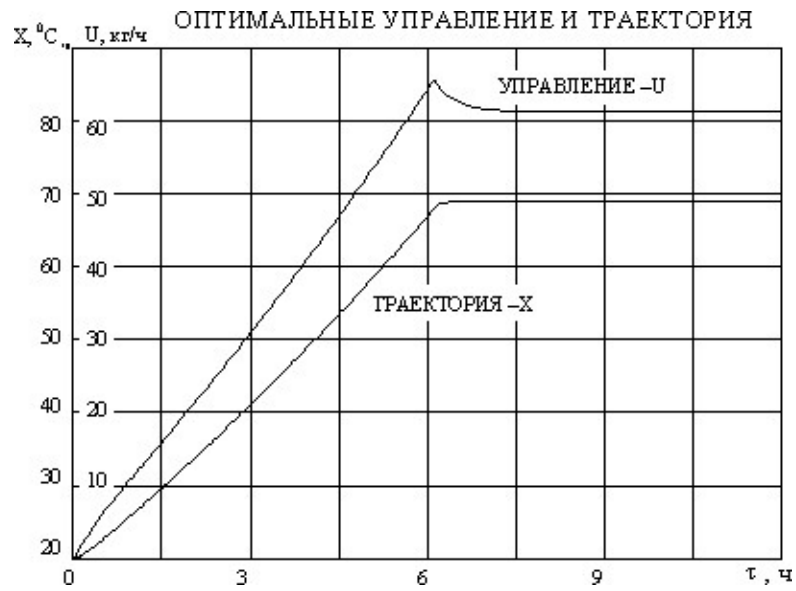


Рисунок 3.8 - Програма процесу сушіння

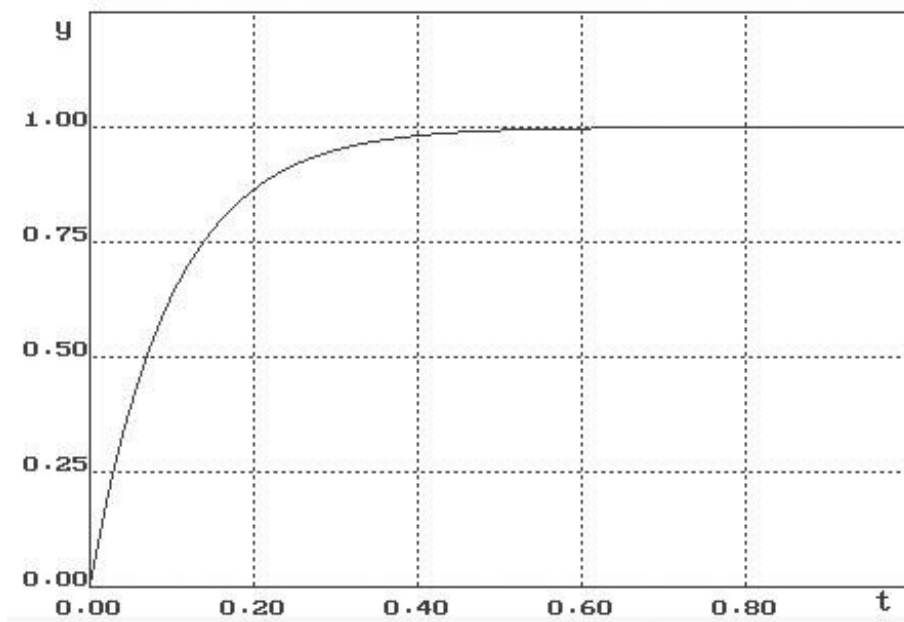


Рисунок 3.9 - Перехідна функція САУ по каналу “енергоносій - температура середовища”

3.2 Обґрунтування і вибір елементної бази

Система функціонує в такий спосіб. Блок порівняння системи аналізує інформацію про відповідність із заданими значеннями перехідних точок - кривій диференціальної усадки, і видає сигнал на заданий програмний пристрій і сигналізує пристрій. Далі сигнал від заданого програмного пристрою надходить на регулятор, який за сигналами мокрого і сухого термометричних датчиків, відповідно до заданої програми управляє трьома виконавчими механізмами, що регулюють подачу пара в калорифери, зволожувальну трубу і положення заслонок припливно-витяжних каналів. Використання даної системи дозволило скоротити тривалість сушіння на 15 – 20% в порівнянні з регулюванням сушки по вологості контрольних зразків.

Крім того, існуюча датчикова апаратура дозволяє вимірювати вміст вологи середовища безпосередньо в термінах рівноважної вологості що висушується деревини для даних параметрів повітря (чутливим елементом вимірювального зонда є целюлозний пластинка). Таким чином, застосування подібних датчиків дозволяє позбутися від невизначеності визначення насиченості середовища при використанні психрометричні вологості середовища. Альтернативним, визначенню насиченості середовища по психрометричній вологості, способом є також поява широкої гама датчиків вологості повітря використовують різні фізичні принципи для визначення стану середовища, що характеризуються задовільною точністю і стабільністю показань.

Поширена схема системи автоматичного управління процесом сушіння пиломатеріалів в камері періодичної дії представлена на рис. 3.10.

Дана система включає в себе наступні блоки:

1. мікропроцесорний блок управління.
2. дистанційний вологомір з датчиками.
3. два датчика температури - "сухий" і "мокрий".
4. виконавчий механізм управління з засувкою на трубопроводі теплоносія.

5. виконавчий механізм управління краном зволоження.

6. виконавчий механізм управління заслінкою повітрепроводу.

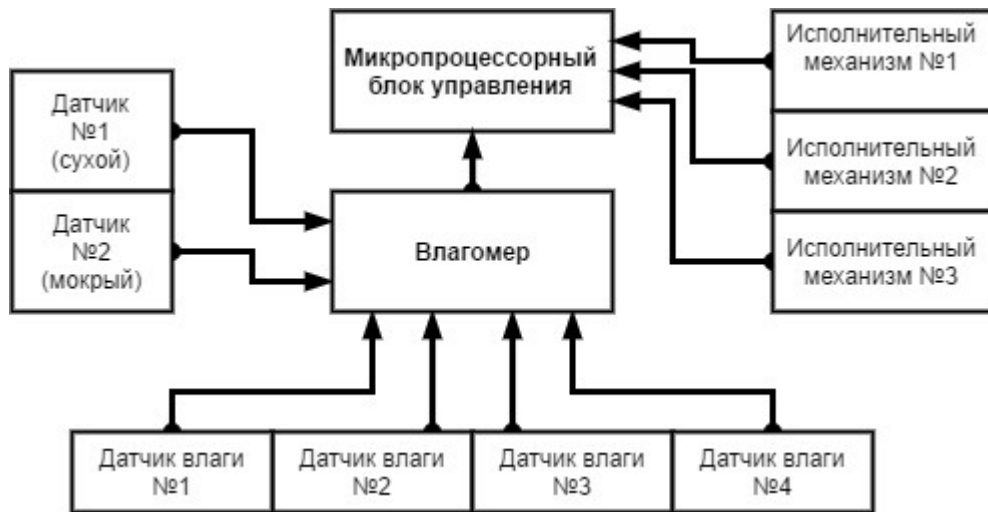


Рисунок 3.10 - Схема системи автоматичного управління процесом сушіння пиломатеріалів

Робота системи проводиться таким чином. Інформація про температуру "сухого" і "мокрого" термометрів надходить з датчиків в блок управління. У нього ж надходить інформація з дистанційного вологоміра про вологість висушуваного пиломатеріалу. Залежно від цих вхідних величин блок обробки і управління виробляє керуючі сигнали для виконавчих механізмів, відповідно до закладеної програми на сушку.

Наявність спеціалізованої SCADA-системи є загальним моментом всіх АСУ ТП, призначених для сушіння пиломатеріалів. Виробники стежать за тим, щоб їх SCADA-системи виконували перелік покладених на них функцій, таких як:

1. Прийом інформації про контрольовані технологічні параметри від регуляторів нижніх рівнів і датчиків.
2. Збереження отриманої інформації в архівах.
3. Вторинна обробка прийнятої інформації.
4. Графічне представлення ходу технологічного процесу, а також прийнятої і архівної інформації в зручній для сприйняття формі.
5. Прийом команд оператора і передача їх на адресу регуляторів

нижніх рівнів і виконавчих механізмів.

6. Реєстрація подій, пов'язаних з контрольованим технологічним процесом і діями персоналу, відповідального за експлуатацію обслуговування системи.

7. Оповіщення експлуатаційного і обслуговуючого персоналу про виявлені аварійних подій, пов'язані з контрольованим технологічним процесом і функціонуванням програмно апаратних засобів АСУ ТП з реєстрацією дій персоналу в аварійних ситуаціях.

8. Формування зведень та інших звітних документів на основі архівної інформації.

9. Обмін інформацією з автоматизованою системою управління підприємством (комплексної інформаційної системою).

10. Безпосереднє автоматичне керування технологічним процесом відповідно до заданих алгоритмів.

3.2.1 Вибір засобів вимірювання вологості

Стаціонарний вологомір деревини ИВД-12 К(рис.3.11)



Рисунок 3.11 - Вологомір ИВД-12

Являє собою мікропроцесорний автоматичний 6-канальний прилад, призначений для вимірювання вологості і температури різних порід деревини (сосна, ялина, береза, дуб, бук, ясен і т.д.) в сушильних камерах в процесі сушіння деревини.

Вимірювач дозволяє отримувати інформацію про встановлену породу деревини, її температуру, вологість деревини по всіх підключених датчиках вологості одночасно або середньої вологості. Показання по вологості деревини автоматично враховують породу і температуру деревини.

Вимірювач ИВД-12К, також дозволяє проводити запис у внутрішню пам'ять параметри деревини (порода, температура, вологість), а також час і дату реєстрації цих параметрів. За допомогою комп'ютерної програми MarturIVD-12К зазначені дані можуть бути виведені на екран комп'ютера у вигляді таблиць і графіків. Всі дані можуть бути роздруковані за допомогою принтера. Дані з пам'яті Вимірювача завантажуються в комп'ютер з використанням SD-карти (Flash). Програма MarturIVD-12К додається до вимірювача ИВД-12К.

Таблиця 3.1 - Технічні характеристики вологоміра

Діапазон вимірюваної вологості,%	7-60
Межа допустимого значення абсолютної похибки при вимірюванні вологості деревини,% в інтервалі	від 7 до 25 +/- 1,5 від 25 до 60 +/- 5,0
Ціна поділки цифрової шкали,%	0.1
Час одного виміру, с	40
Канал вимірювання температури деревини	є

Продовження таблиці 3.1

Діапазон температурної корекції, °С	5-95
Режим введення температурної корекції	автомат / ручний
Кількість каналів контролю вологості деревини	до 6
Режим перемикання каналів вологості деревини	автомат
Напруга живлення, В	220 +/- 10%
Габаритні розміри, мм	90x190x210
Маса, кг	2

3.2.2 Вибір мікроконтролера

Для виконання виставлених до системи автоматизації вимог вибираємо Програмований логічний контролер ОВЕН ПЛК160

ОВЕН ПЛК160(рис.3.12) - лінійка програмованих моноблочних контролерів з дискретними і аналоговими входами / виходами на борту для автоматизації середніх систем.

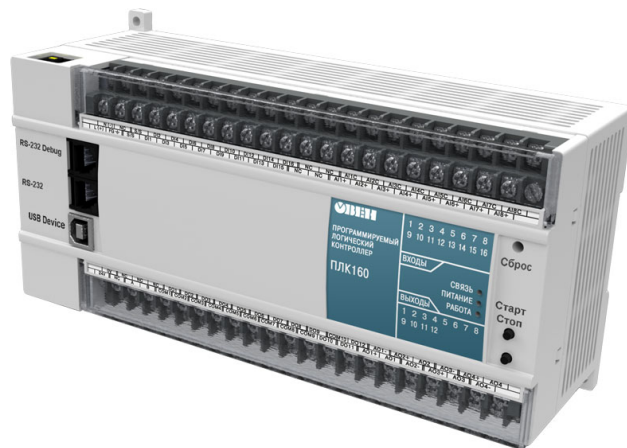


Рисунок 3.12 - Зовнішній вигляд контролера ОВЕН ПЛК160

Оптимальні для побудови систем автоматизації середнього рівня і розподілених систем управління.

Відмінні риси лінійки

- Потужні обчислювальні ресурси і великий обсяг пам'яті.
- Наявність дискретних і аналогових входів / виходів на борту контролера.
- Наявність послідовних портів (RS-232, RS-485) на борту контролера.
- Наявність порту Ethernet для включення в локальні або глобальні мережі верхнього рівня.
- Підтримка протоколів обміну Modbus (RTU, ASCII), OVEN, DCON.
- Можливість роботи безпосередньо з портами контролера, що дозволяє підключати зовнішні пристрої з нестандартними протоколами.
- Контролер має вбудований годинник, що дозволяє створювати системи управління з урахуванням реального часу.
- Вбудований акумулятор, що дозволяє організувати ряд додаткових сервісних функцій: можливість короткочасного переключення зникнення живлення, Переведення вихідних елементів в безпечний стан..

Таблиця 3.2 – Входи контролера

Контролер	ПЛК160
Дискретні входи	16
Дискретні виходи	12
Аналогові входи	8
Аналогові виходи	4

Аналогові виходи можуть бути

- За струмом 4 ... 20 мА
- По напрузі 0 ... 10 В
- Універсальні - програмно перемикаються струм \ напруга

Інтерфейси і протоколи

- Всі контролери даної лінійки мають велику кількість інтерфейсів на борту, які працюють незалежно один від одного:

- Ethernet;
- До трьох послідовних портів;
- USB Device для програмування контролера.

3.2.3 Вибір електрокалорифера

Електрокалорифер "Ведмідь" ЕКО-25(рис.3.13) призначений для комплектації опалювальних установок ЕКОЦ, а також застосування в системах вентиляції та опалення в будівлях промислового, комунального і сільськогосподарського призначення.



Рисунок 3.13 - Електрокалорифер "Ведмідь" ЕКО-25

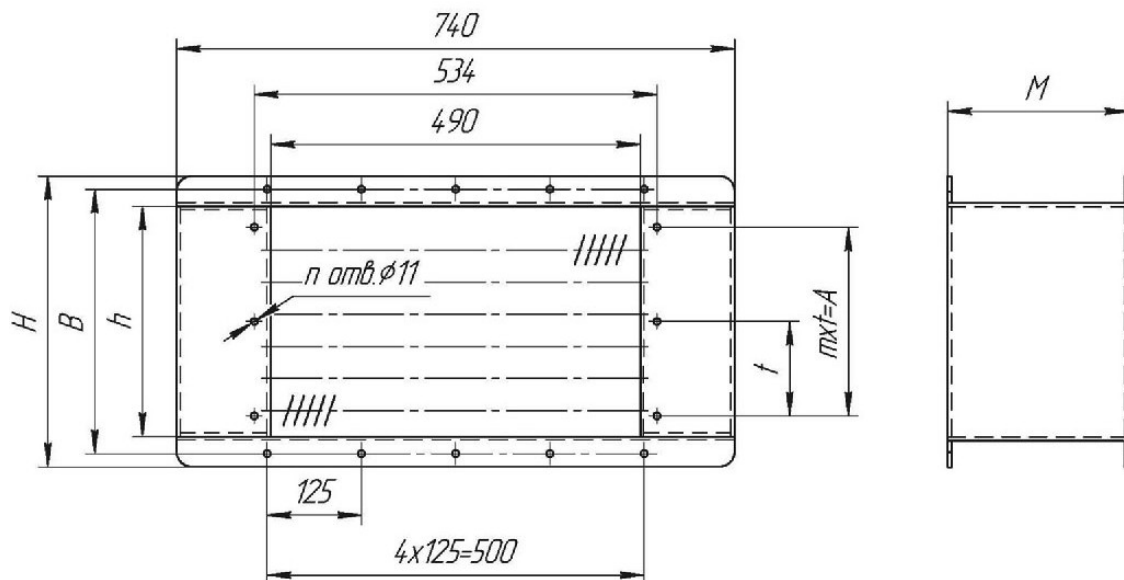


Рисунок 3.14 - Габарити електрокалорифера "Ведмідь" ЕКО-25

Таблиця 3.3 - Технічні характеристики електрокалорифера

Характеристики	Параметри
Встановлена потужність	22,5 кВт
Номінальна потужність одного нагрівача	2,5 кВт
Число електричних секцій	3
Напруга мережі живлення	380 ± 28,5В
Напруга на нагрівачі	220 В
Частота	50 Гц
Число фаз	3
Схема з'єднання нагрівачів в секції	Зірка
Ступінь захисту оболонки	IP20
Максимальний теплоперепад виходить і вхідного повітря (не більше)	35 ° С
Продуктивність по повітрю (мінімальна)	2500 м ³ / год
Аеродинамічний опір (не більше):	150 Па
Маса (не більше):	12 кг

3.2.4 Вибір паро зволожувача

Промисловий зволожувач повітря ue005xd001(рис.3.15) зволожувач з нерозбірним циліндром carel humisteam x-plus це пристрій, який служить для додавання водяної пари в припливне повітря, що надходить з вулиці або безпосередньо у внутрішнє повітря приміщення, і тим самим збільшує його вологість. Основними елементами промислового парозволожувача є нагрівальні електроди, додаткові елементи описані нижче. Даний каналний зволожувач повітря має продуктивність по воді 5 кг / год. Він сумісний з усіма приточними установками і центральними кондиціонерами систем вентиляції, як вітчизняних, так і зарубіжних виробників і має оптимальну ціну.



Рисунок 3.15 - Зовнішній вигляд парозволожувача UE005XD001

Таблиця 3.4 - Характеристики парозволожувача

Характеристики	Параметри
Бренд	Carel
Номінальна продуктивність	5 кг/год
Макс. споживана потужність	3.75 кВт
Параметри електроживлення	200, 208-230 В змін. струм (10 до -15%), 50/60 Гц, одна фаза Ф/В/Гц
Приєднання лінії пара	Ø 30 мм
Умови роботи	от 1 до 40 °С, відн. вологість від 10 до 90 %, без конденсата
Габаритні розміри	365x275x712 мм
Вага	17 кг

Основні переваги:

- простота управління: всі моделі зволожувачів humiSteam комплектуються великим і зручним літерно-цифровим рідкокристалічним дисплеєм;

- надійність: всі моделі зволожувачів humiSteam мають роз'єми живлення, які не вимагають додаткових інструментів при заміні циліндра, тому небезпека перегріву в разі некоректного техобслуговування виключається;

продуктивність: програмне забезпечення зволожувача полегшує запуск зволожувача і забезпечує оперативне реагування на запити зволоження.

- Крім цього, зволожувач має спеціалізовані функції захисту (наприклад, система анти спінювання), засоби санітарно-гігієнічного відповідності і функцію регулювання "проблемної" води;

- підключення: моделі humiSteam Xplus (X) і humiSteam basic (Y) стандартно працюють по протоколу Modbus® RS485; крім цього, топовий контролер Xplus (є вдосконаленим контролером сімейства CAREL pCO) підтримує деякі опціональні протоколи і розширені функції, зокрема можливість настройки розкладів роботи зволожувача і заданих значень вологості по днях і тижнях, ведення журналу історії (реєстрацій подій за датою та часом) і можливість дистанційної діагностики по GSM-з'єднанню.

Переваги:

- система анти спінювання (Anti Foaming System): запобігає потраплянню великих крапель води в систему роздачі пара;
- оцинковані електроди і донний фільтр з захистом від накипу; також є розбірні і понад термостійкі циліндри;
- плавне регулювання паропродуктивності від 20% до максимальної (від 10% у моделей продуктивністю 90 і 130 кг / год);
- вбудований датчик електропровідності і програмне забезпечення для оптимізації електроспоживання, збільшення терміну служби і гарантії стабільної роботи циліндра

4 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК СУШИЛЬНОЇ КАМЕРИ

4.1 Пристрій і принцип дії сушильної камери

Камера призначена для сушіння пиломатеріалів з деревини хвойних і листяних порід до експлуатаційної вологості в пароповітряної середовищі нормальними і форсованими режимами на 3 категорії якості сушіння.

Камера відноситься до камер періодичної дії, виконаним в будівельних огорожах. Вона є камерою з поперечно-вертикальної циркуляцією, що здійснюється безпосередньо вентиляторами. У цьому пристрої сушильний агент проходить через штабеля в поперечному (щодо довжини дощок) напрямку, а траєкторія його кільцевого руху всередині камери лежить у вертикальній площині. Побудниками циркуляції тут служать осьові реверсивні вентилятори. При обертанні вентиляторів повітря здійснює круговий рух поперек камери, проходячи послідовно через калорифери і штабель. Якщо циркуляція спрямована за годинниковою стрілкою, то в лівій половині циркуляційного каналу створюється розрідження, а в правій натиск. В цьому випадку ліва частина циркуляційного каналу служить для припливу свіжого, а права для вихлопу частини відпрацьованого повітря. При реверсуванні потоку призначення каналів змінюється на протилежне.

Кожна камера вміщає чотири штабелі (два на її довжині, два на ширині), завантаження і вивантаження яких проводиться на рейкових коліях.

Металева стеля розділяє камеру на висоті на дві зони - сушильну, куди зачочуються укладаються без шпаціями штабеля і зону циркуляційного каналу. У зоні циркуляційного каналу встановлено шість реверсивних осьових вентиляторів.

Для нагрівання агента сушіння в камері застосовують пластинчасті калорифери, розташовані у верхньому рециркуляційно каналі, і ребристі чавунні, розташовані між штабелями. Теплоносієм є насичена водяна пара.

Циркулюючий агент сушіння при руху через штабель змінює свій стан. Перед новим заходом в штабель первісний стан сушильного агента відновлюється

за допомогою нагрівальних і повітрообміну пристроїв. Встановлені калорифери з запасом забезпечують підведення теплоти, необхідної для проведення процесу сушіння і проведення початкового прогріву.

Технічна характеристика сушильної камери представлена в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Характеристика сушильної камери

Показники	Значення
1. Габаритні розміри штабелів, мм Довжина ,Ширина,Висота	8500,2000,2600
2. Число штабелів, що завантажуються в камеру, шт.	4
3. Ємність камери в умовному матеріалі, м ³	80
5. Підсилювач циркуляції сушильного агента	Осьовий реверсивний вентилятор
6. Число вентиляторів, шт.	6
7. Габаритні розміри, мм Довжина Ширина Висота	16400,6400,5200

4.2 Вибір і обґрунтування режимів сушки і вологотеплообробки

Залежно від вимог, що пред'являються до якості висушеної деревини, пиломатеріали можуть висушуватися режимами різних категорій по температурному рівню: м'якими (М), нормальними (Н), форсованими (Ф) і високотемпературними (ВТ). Режими М, Н, Ф відносяться до режимам низькотемпературного процесу.

Залежно від призначення пиломатеріалів (меблеве виробництво) і виду камери вибирається категорія якості друга і нормальний режим сушки. Другу категорію якості використовують для сушіння пиломатеріалів до експлуатаційної вологості, що забезпечує точну механічну обробку деталей і вузлів, кваліфікованих виробів (меблі, столярні вироби, внутрішнє обладнання пасажирських суден і вагонів), в зв'язку з цим і вибирається друга категорія якості

сушіння. При сушінні до експлуатаційної вологості по другій категорії якості можуть застосовуватися нормальний, форсований і високотемпературний режими сушіння. Нормальний режим сушіння вибирається, тому що він зберігає міцність деревини на вигин, розтягування і стиснення і не знижує міцність на сколювання, але можливе невелике потемніння верхнього шару деревини. Сушіння деревини при цьому проводиться швидше, ніж при сушінні м'яким режимом, а форсований і високотемпературний режими не дають необхідної якості, так як знижують міцність на сколювання, що є недопустимим в меблевому виробництві, також дають значне потемніння.

Обрані режими сушіння представлені в таблиці 4.2

Таблиця 4.2 - Режими сушіння

Порода	Товщин а п/м	Номер і індекс режиму	Номер ступені режиму	Зміна вологості деревини на кожному ступені, %	Параметри режиму		
					t °C	Δt°C	φ
Береза	40	4-В	1	90-30	75	5	0,80
			2	30-20	80	9	0,66
			3	20-12	100	29	0,31
Ялина	40	5-Н	1	60-35	73	5	0,80
			2	35-25	77	9	0,66
			3	25-12	96	28	0,31
Сосна	60	5-Н	1	60-35	71	4	0,83
			2	35-25	75	8	0,70
			3	25-10	94	27	0,32

4.3 Вибір початкового прогріву і вологотеплообробки

Початковий прогрів проводиться для інтенсивного прогрівання деревини перед сушінням в камері створюється висока ступінь насиченості середовища при підвищеній, у порівнянні з першим ступенем режиму сушіння, температурі.

Температуру середовища при прогріванні пиломатеріалів м'яких хвойних порід підтримують залежно від товщини і категорії режиму сушіння. При прогріванні пиломатеріалів інших порід встановлюють температуру середовища вище, ніж на першому місці режиму сушіння: для модрини і твердих листяних порід - на 5 °С, а для м'яких листяних порід - на 8 °С, але в обох випадках температура не повинна бути вище 100 °С.

Психрометричний різниця при початковому прогріванні підтримують на рівні 0,5 - 1,5 °С. Під час прогріву в камеру подаю пар через зволожувальні труби при включених калориферах, працюючих вентиляторах і закритих приточно-втяжних каналах. На прогрів деревини витрачається багато пара, тому проводити початковий прогрів одночасно в багатьох камерах сушильного блоку не рекомендується. Орієнтовно тривалість початкового прогріву визначаю з розрахунку 1 година на кожен сантиметр товщини матеріалу. Проміжна вологотеплообробка не проводиться.

Кінцева вологотеплообробка проводиться з метою зняття залишкових внутрішніх напружень. Кінцевою вологотеплообробкою піддають пиломатеріали, висушувані по 2 категорії якості. Під час обробки температуру середовища підтримують на 8 °С вище, ніж температура на останньому щаблі режиму, але не вище 100 °С. Психометричні різниця встановлюється 0,5-1 °С. Тривалість кінцевої вологотеплообробка приймається по таблиці.

Температура початкового прогріву для берези визначається за формулою:

$$t_{\text{нп}} = t + 5, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4.1)$$

де $t_{\text{нп}}$ - температура початкового прогріву деревини;

t - температура першого ступеня сушіння (визначена в таблиці 4.2)

$$t_{\text{нп}} = 75 + 5 = 80 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Температура кінцевої вологотеплообробки визначається за формулою:

$$t_{\text{квто}} = t + 8, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4.2)$$

де $t_{\text{квто}}$ - температура кінцевої вологотеплообробки деревини;

t - температура третього ступеня сушіння.

$$t_{\text{квто}} = 80 + 8 = 88 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Параметри початкового прогріву і вологотеплообробки представлені в таблиці 4.3

Таблиця 4.3 Початковий прогрів і вологотеплообробка

Порода	Режим сушіння	Найменування обробки	Параметри			
			t °C	Δt°C	T	W,%
Береза	4-B	НП	80	0,5-1,5	4	9
		ПВТО	-	-	-	-
		КВТО	88	0,5-1	12	12
Ялина	5-Н	НП	85	0,1-1,5	4	60
		ПВТО	-	-	-	-
		КВТО	100	0,5-1	6	12
Сосна	6-Н	НП	80	0,5-1,5	6	60
		ПВТО	-	-	-	-
		КВТО	100	0,5-1	9	12

4.4 Технологічний розрахунок

4.4.1 Розрахунок тривалості циклу сушіння

Розрахунок тривалості сушіння в камерах періодичної дії при низькотемпературному процесі.

Загальна тривалість сушіння фактичного і умовного матеріалів, включаючи початковий прогрів і вологотеплообробку, знаходиться за формулою.

$$\tau = \tau_{\text{исх}} * A_p * A_{\text{ц}} * A_B * A_K * A_D, \text{ годин} \quad (4.3)$$

де $\tau_{\text{исх}}$ - вихідна тривалість власне сушіння пиломатеріалів заданої породи і

розмірів нормальним режимом від початкової вологості 60% до кінцевої вологості 12% в камерах з реверсивної циркуляцією середньої інтенсивності, год;

$A_p, A_{ц}, A_B, A_K, A_D$ - коефіцієнти, що враховують категорію режимів сушіння A_p , інтенсивність циркуляції $A_{ц}$, початкову і кінцеву вологості A_B , якість сушіння A_K , довжину матеріалу A_D .

Значення A_D приймається для пиломатеріалів рівним 1.

а) розраховується тривалість сушіння для берези 40*150 мм.

$$\tau_{исх} = 105(\text{годин})$$

$$A_{ц} = 0,83$$

$A_p = 1$ - для нормального режиму сушіння.

$A_K = 1,05$ - для 3 категорії якості сушіння

$$A_B = 1,25$$

$$\tau = 105 * 1 * 0,83 * 1,05 * 1,25 * 1 = 114(\text{годин}) = 4,75(\text{діб})$$

б) розраховується тривалість сушіння для ялини 40*180 мм.

$$\tau_{исх} = 88(\text{годин})$$

$$A_{ц} = 0,78$$

$A_p = 1$ - для нормального режиму сушіння.

$A_K = 1,05$ - для 3 категорії якості сушіння

$$A_B = 1$$

$$\tau = 88 * 1 * 0,78 * 1 * 1,05 * 1 = 72(\text{годин}) = 3(\text{добы})$$

в) розраховується тривалість сушіння для сосни 60 * 180 мм.

$$\tau_{исх} = 125(\text{годин})$$

$$A_{ц} = 0,87$$

$A_p = 1$ - для нормального режиму сушіння.

$A_K = 1,05$ - для 3 категорії якості сушіння

$$A_B = 1$$

$$\tau = 125 * 1 * 1,05 * 1 * 1 * 0,87 = 114,5(\text{годин}) = 4,7(\text{діб})$$

г) розраховується тривалість сушіння умовного матеріалу.

$$\tau_{\text{исх}} = 88(\text{годин})$$

$$A_{\text{ц}} = 0,78$$

$A_P = 1$ - для нормального режиму сушіння.

$A_K = 1,15$ - для 3 категорії якості сушіння

$$A_B = 1$$

$$\tau = 88 * 1 * 1,15 * 1 * 1 * 0,78 = 78,9(\text{годин}) = 3,2(\text{діб})$$

Розраховується тривалість обороту камери при сушінні пиломатеріалів в камері(4.4).

$$\tau_{\text{об}} = \tau + \tau_{\text{з.р}}, (\text{діб}) \quad (4.4)$$

де τ - тривалість сушіння (діб).

$\tau_{\text{з.р}}$ - тривалість завантаження і розвантаження камери, приймається рівною 0,1 доби при механізованих способах завантаження.

$$\text{Для берези } \tau_{\text{об}} = 4,75 + 0,1 = 4,85(\text{діб})$$

$$\text{Для Ялини } \tau_{\text{об}} = 3 + 0,1 = 3,1(\text{діб})$$

$$\text{Для сосни } \tau_{\text{об}} = 4,7 + 0,1 = 4,8(\text{діб})$$

$$\text{Для умовного матеріалу } \tau_{\text{об}} = 3,2 + 0,1 = 3, (\text{діб})$$

Таблиця 4.4 Розрахунок тривалості сушіння і обороту камери

Характеристики пиломатеріалів					Категорія якості	Категорія	τ _{исх} , ГОДИН	Коефіцієнти					τ _{суш}		τ _{об}
Порода	Товщин а, мм	Довжин а, мм	Вологість, %					A _p	A _ц	A _к	A _в	A _д	ч	діб	діб
			W _н	W _к											
Береза	40	160	90	12	3	Н	105	1	0,83	1,05	1,25	1	114	4,75	4,85
Ялина	40	180	60	12	3	Н	88	1	0,78	1,05	1	1	72	3	3,1
Сосна	60	180	60	12	3	Н	125	1	0,87	1,05	1	1	114,5	4,7	4,8
Умовний матеріал	40	150	60	12	2	Н	88	1	0,78	1,15	1	1	78,9	3,2	3,3

Обсяг підлягатимуть сушінню пиломатеріалів (Φ_i) переводиться в обсяг умовного матеріалу (Y_i) за формулою:

$$Y_i = \Phi_i \times K_\tau \times K_e, \text{ м}^3 \text{ умовний} \quad (4.5)$$

де Φ_i - обсяг що підлягають сушарці фактичних пиломатеріалів заданих в специфікації, м³;

K_τ - коефіцієнт тривалості обороту;

K_e - коефіцієнт місткості камери.

$$K_{\tau} = \tau_{\text{об.ф}} / \tau_{\text{об.усл}} \quad (4.6)$$

$\tau_{\text{об.ф}}$ - тривалість обороту камери при сушінні фактичного матеріалу, діб.

$\tau_{\text{об.усл}}$ - тривалість обороту камери при сушінні умовного матеріалу, діб.

$$K_e = \frac{E_{\text{усл}}}{E_{\text{ф}}} = \frac{\beta_{\text{усл}}}{\beta_{\text{ф}}} \quad (4.7)$$

де $E_{\text{усл}}$ - ємність камери на умовному матеріалі, м³;

$E_{\text{ф}}$ - ємність камери на матеріалі заданої характеристики, м³;

$\beta_{\text{усл}}$ - об'ємний коефіцієнт заповнення штабеля умовним матеріалом;

$\beta_{\text{ф}}$ - об'ємний коефіцієнт заповнення штабеля фактичним матеріалом.

Переводимо фактичний обсяг берези в умовний обсяг. Знаходимо об'ємний коефіцієнт заповнення штабеля.

$$\beta = \beta_{\text{д}} \times \beta_{\text{ш}} \times \beta_{\text{в}} \times \left(\frac{100 - Y_0}{100} \right) \quad (4.8)$$

де $\beta_{\text{д}}, \beta_{\text{ш}}, \beta_{\text{в}}$ - лінійні коефіцієнти заповнення штабеля по його довжині, ширині, висоті.

$$Y_0 = k_0 * (w_{\text{н}} - w_{\text{к}}), \% \quad (4.9)$$

де Y_0 - об'ємна усушка деревини;

k_0 - коефіцієнт усушки;

$w_{\text{н}}$ - початкова вологість деревини;

$w_{\text{к}}$ - кінцева вологість деревини.

$$\beta_d = 1$$

$$\beta_v = \frac{S}{S + S_{\text{пр}}} \quad (4.10)$$

де S - товщина пиломатеріалів, мм;

$S_{\text{пр}}$ - товщина прокладок, (25 мм).

Знаходимо умовний коефіцієнт заповнення штабеля:

$$V_{\text{усл}} = \beta_d \times \beta_{\text{ш}} \times \beta_v \times \left(\frac{100 - Y_0}{100} \right) \quad (4.11)$$

Для умовного матеріалу $\beta_d = 1$

Для сосни

$$Y_0 = 3,52$$

$$\beta_v = 40/(40 + 25) = 0,6$$

$\beta_{\text{ш}} = 0,9$ - тому дошки обрізні з способом укладання без шпацій.

$$V_{\text{усл}} = 1 \times 0,9 \times 0,6 \times ((100 - 3,52)/100) = 0,48$$

Фактичний коефіцієнт заповнення штабеля.

Для берези:

$$\beta_d = 1,$$

$$\beta_v = 40/(40 + 25) = 0,6,$$

$$Y_0 = 4,32,$$

$$\beta_{\text{ш}} = 0,9,$$

$$\beta = 1 \times 0,9 \times 0,6 \times ((100 - 4,32)/100) = 0,5.$$

Для Ялини:

$$\beta_d = 1$$

$$\beta_b = 40/(40 + 25) = 0,6,$$

$$\beta_{ш} = 0,9,$$

$$Y_0 = 3,44,$$

$$\beta = 1 \times 0,9 \times 0,6 \times ((100 - 3,44)/100) = 0,5.$$

Для сосни:

$$\beta_d = 1$$

$$\beta_b = 60/(60 + 25) = 0,7,$$

$$\beta_{ш} = 0,9,$$

$$Y_0 = 3,52,$$

$$\beta = 1 \times 0,7 \times 0,9 \times ((100 - 3,52)/100) = 0,6.$$

Переводимо фактичний обсяг берези в умовний обсяг.

$$K_\tau = 4,85/3,3 = 1,4,$$

$$K_e = 0,48/0,5 = 0,96,$$

$$Y_i = 7000 \times 1,4 \times 0,9 = 8820(\text{м}^3)$$

Переводимо фактичний обсяг Ялини в умовний обсяг.

$$K_\tau = 3,1/3,3 = 1,$$

$$K_e = 0,48/0,5 = 0,96,$$

$$Y_i = 8200 \times 1 \times 0,96 = 7872(\text{м}^3)$$

Переводимо фактичний обсяг Сосни в умовний обсяг.

$$K_\tau = 4,8/3,3 = 1,5,$$

$$K_e = 0,48/0,6 = 0,8,$$

$$U_i = 11500 \times 1,5 \times 0,8 = 13800(\text{м}^3)$$

Таблиця 4.5 Переведення обсягу фактичних пиломатеріалів в обсяг умовного матеріалу

Характеристика матеріалу			Тривалість обороту камери, діб		Коефіцієнти				Об'єм пиломатеріалів, м ³	
Порода	Товщина, мм	Ширина, мм	тоб.ф (діб)	тоб.усл (діб)	К _τ	β _ф	β _{усл}	К _е	Заданий Ф	В умовному матеріалі У
Береза	40	160	4,85	3,3	1,4	0,5	0,48	0,96	7000	8820
Ялина	40	180	3,1	3,3	1	0,5	0,48	0,96	8200	7872
Сосна	60	180	4,8	3,3	1,5	0,6	0,48	0,8	1150 0	13800

4.4.2 Розрахунок кількості сушильних камер

Нормативна річна продуктивність камери на умовному матеріалі розраховується за формулою:

$$P_y = \frac{335}{\tau_{\text{об.усл}}} \times \beta_{\text{усл}} \times \Gamma, \frac{\text{м}^3}{\text{рік}}, \quad (4.12)$$

де 335- планова тривалість роботи камери протягом календарного року з урахуванням необхідності їх періодичного ремонту (добу);

Γ- габаритний об'єм всіх штабелів в камері, м³.

$$\Gamma = L \times B \times H \times m, \quad (4.13)$$

де L, B, H - габаритні розміри штабеля (довжина, ширина, висота), м; m -

число штабелів в камері;

$$\Gamma = 8,5 \times 2 \times 2,6 \times 4 = 176,8(\text{м}^3),$$

$$\Pi_y = 335/3,3 \times 0,48 \times 176,8 = 8615(\text{м}^3/\text{рік}).$$

Розрахунок необхідної кількості камер:

Необхідна кількість камер розраховується за формулою:

$$n = \frac{Y}{\Pi_y} \quad (4.14)$$

де Y - загальний обсяг умовного матеріалу, м^3 . Π_y - Річна продуктивність однієї камери в умовному матеріалі, м^3 умовний/рік.

Прийняте кількість камер визначається округленням n до найближчого цілого числа.

$$n = \frac{13800 + 7872 + 8820}{8615} = 3,53,$$

Приймаємо до будівництва 4 чотирьох штабельних камери.

5 ЕКОНОМІКА

5.1 Постановка завдання

В даній магістерській роботі пропонується впровадити прилад (впровадження нового стаціонарного вологоміра деревини ИВД-12К), що дозволить автоматично контролювати вимірювання і реєстрації температури і вологості деревини (береза, дуб, бук, сосна, вільха, ясен, модрина, липа, клен, ялина) в процесі сушіння пиломатеріалів в сушильних камерах .

Такий захід дозволить суттєво поліпшити контроль щодо точнішого досягнення необхідних значень технічних характеристик процесу сушіння деревини, що, в свою чергу, дозволить знизити відсоток некондиційного продукту на виході та зменшити витрати часу на виконання всіх етапів технологічного процесу.

Для визначення економічної доцільності запропонованого у магістерській дисертації стаціонарного вологоміра у даному розділі виконуються розрахунки техніко-економічних показників та показників економічної ефективності проекту.

5.2 Розрахунок капітальних витрат

Капітальні витрати - це кошти, призначені для створення та придбання основних фондів та нематеріальних активів, що підлягають амортизації .

Капітальні вкладення розраховуються за формулою (5.1):

$$K_{np} = \sum_{i=1}^k C_i + Z_{mzc} + Z_m + Z_n + Z_{ини} \quad (5.1)$$

де $\sum_{i=1}^k C_i$ - вартість придбання приладу;

k - кількість необхідних комплектуючих елементів;

Z_{mzc} - транспортно-заготівельні і складські витрати;

Z_m - витрати на монтажні роботи;

Z_n - витрати на налагоджувальні роботи;

$Z_{\text{інші}}$ - інші витрати. 30 % від витрати на налагоджувальні роботи;

Вартість придбання вологоміру ІВД-12К визначено у відповідності до прейскуранту цін фірми Martur Electronics, (http://martur.at.ua/publ/izmeritel_vlzhnosti_drevesiny_stacionarnyj_ivd_12p_ivd_12k_i_ivd_12/1-1-0-10), станом на 16.01.2018. Ціна обладнання складає 9444,6 грн. (330\$, за курсом НБУ 28,62 грн./\$ на 16.01.2018).

Таблиця 5.1 - Зведення капітальних витрат

№ п/п	Найменування статей витрат	Порядок розрахунку	Сума, грн.
Вимірювач вологості деревини ІВД-12К			
1	Ціна, грн.	-	9444,6
2	транспортно-заготівельні і складські витрати	згідно тарифам організації-перевізника	90
3	витрати на монтажні та налагоджувальні роботи	$Z_{\text{м(н)}} = \sum (C_i \times a_i \times t_i) \times K_{\text{д}} \times K_{\text{СМ}} \times K_{\text{пр}}$	155,28
4	інші витрати	$K_{\text{інші}} = (30\%/100\%) \cdot Z_{\text{мн}}$	46,59

Транспортно-заготівельні і складські витрати розраховуються згідно тарифам організації-перевізника "Нова Пошта" з урахуванням габаритів, маси вантажу та відстані: (габарити 90x190x210,мм - вага 2кг;). (<https://novaposhta.ua/delivery>) сума доставки - 90 грн.

Витрати на монтажні Z_m і на налагоджувальні роботи Z_n можна визначити наступним чином за формулою 5.2 :

$$Z_{\text{м(н)}} = \sum (C_i \times a_i \times t_i) \times K_{\text{д}} \times K_{\text{СМ}} \times K_{\text{пр}}, \quad (5.2)$$

де $Ч_i$ - чисельність працівників i -го розряду, необхідних для виконання певного обсягу монтажних (налагоджувальних) робіт, чол.

a_i - годинна тарифна ставка i -го розряду, грн.

t_i - час, необхідний для виконання певного обсягу монтажних (налагоджувальних) робіт, час.

K_o - коефіцієнт, що враховує розмір доплат;

K_{CM} - коефіцієнт, що враховує відрахування на соціальні заходи;

K_{np} - коефіцієнт, що враховує інші витрати на здійсненні монтажних (налагоджувальних) робіт.

Дані на розрахунок налагоджувальних витрат(посадові оклади за ЄТС-2017), наведено в таблиці 5.2

Таблиця 5.2 - Розрахунок налагоджувальних витрат

Найменування затрат	Од. вимірювання	Позначення	Значення
Чисельність працівників	чол.	$Ч_i$	1
Часова тарифна ставка, V розряд	грн./год.	a_i	22,04
Час для виконання роботи	година	t_i	5
Коефіцієнт, що враховує розмір доплат	грн.	K_o	1,1
Коефіцієнт, що враховує єдиний соц.внесок	грн.	K_{CM}	1,22
Коефіцієнт, що враховує інші витрати	грн.	K_{np}	1,05

За формулою (5.2) :

$$Z_n = (1 \times 22,04 \times 5) \times 1,1 \times 1,22 \times 1,05 = 155,28 \text{ грн.}$$

$$Z_{ини} = (30 / 100) * 155,28 = 46,59 \text{ грн.}$$

Таким чином капітальні витрати дорівнюють:

$$K_{np} = 9444,6 + 90 + 155,28 + 46,59 = 9736,47 \text{ грн.}$$

5.3 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати - це поточні витрати на експлуатацію та обслуговування об'єкта проектування за певний період (рік), виражені в грошовій формі.

Експлуатаційні витрати можна розрахувати за формулою (5.3):

$$C = C_a + C_z + C_c + C_m + C_e + C_{np}, \text{ грн.} \quad (5.3)$$

де C_a – амортизаційні відрахування ;

C_z – заробітна плата обслуговуючого персоналу ;

C_c – відрахування на соціальні заходи від заробітної плати ;

C_m – витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт обладнання;

C_e – вартість електроенергії, споживаної об'єктом проектування;

C_{np} – інші експлуатаційні витрати .

5.3.1. Амортизаційні відрахування

Амортизація об'єкта основних засобів нараховується виходячи з терміну його використання. Строк корисного використання об'єктів основних засобів береться не менше мінімально допустимого строку, який вказаний в нормативних документах для кожної з груп основних фондів. Так як розроблений прилад можна віднести до 4 групи ОПФ, мінімальний строк корисного використання дорівнює 5 років. Таким чином, термін корисного використання був прийнятий 5 років.

Податковим кодексом України [28] дозволено використовувати прямолінійний метод амортизації, при якому річна сума амортизації

розраховується як відношення вартості, яка амортизується до терміну корисного використання об'єкта основних фондів.

Так як не представляється можливим визначити ліквідаційну вартість використовуваного обладнання, приймаємо $\Phi_{л} = 0$. Тоді формула розрахунку амортизації набуде вигляду (5.4):

$$AO = \frac{\Phi_{п}}{T_{п}} \quad (5.4)$$

де $\Phi_{п}$ – первісна (або переоцінена) вартість об'єкта основних засобів;

$T_{п}$ – строк корисного використання.

$$AO = \frac{9736,46}{5} = 1947,29 \text{ грн}$$

5.3.2 Розрахунок річного фонду заробітної плати

Здійснюється за категоріями персоналу (робітники, ІТП, керівники), обслуговуючого об'єкт проектування, відповідно до їх чисельністю, режимом роботи, годинними тарифними ставками, посадовими окладами, застосовуваними на підприємстві формами і системами оплати праці та преміювання.

Таблиця 5.3 – Розрахунок річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу

№ п/п	Найменування професій робітників	Явочний штат в зміну, чол.	Часова тарифна ставка, грн.	Номінальний річний фонд робочого часу, г.	Разом, основна зарплата по тарифам, грн.
1.	Робочий	1	25,32	1816	45981,12

Номінальний річний фонд робочого часу розраховується так(5.5) :

$$T = (D_k - D_{cv} - D_{vix} - D_{vid}) \times t \quad (5.5)$$

D_k – дні календарні;

D_{cv} – дні святкові;

D_{vix} – дні вихідні;

D_{vid} – дні відпустки;

t – час зміни.

$$T = (365 - 10 - 104 - 24) * 8 = 227 * 8 = 1816, \text{ годин.}$$

Додаткова заробітна плата обслуговуючого персоналу визначається в розмірі 20% від основної заробітної плати.

Премія обслуговуючого персоналу визначається в розмірі 10% від основної заробітної плати.

Таким чином, загальна величина річного фонду заробітної плати становить(5.6):

$$C_z = Z_{ocn} + Z_{don} + Z_{np} \quad (5.6)$$

де Z_{ocn} , Z_{don} , Z_{np} - основна та додаткова заробітна плата відповідно, та премія грн.

$$Z_{don} = \frac{20}{100} \times 45981,12 = 9196,22, \text{ грн.}$$

$$Z_{np} = \frac{10}{100} \times 45981,12 = 4598,11$$

$$C_z = 45981,12 + 9196,22 + 4598,11 = 59775,45, \text{ грн.}$$

5.3.3 Розрахунок єдиного соціального внеска

Складають в 2017 22% згідно закону від фонду заробітної плати відповідно до розмірів єдиного внеску.

$$\text{ЄСН} = \frac{59775,45 \times 22}{100} = 13150,60 \text{ , грн.}$$

5.3.4 Витрати на поточний ремонт

Ремонт апаратури автоматики і систем автоматизації можна розрахувати за формулою (5.7):

$$Zm.p. = \sum_{i=1}^n \left(R_i \times t_i \times m_i \times R_{\Sigma_i} + \frac{S_i \times \Pi_i}{T_i} \times T_{\phi} \right), \quad (5.7)$$

де n - число пристроїв автоматики, що підлягають ремонту;

R_i - годинна ставка робітників, що виконують ремонт, грн;

t_i - трудомісткість одного ремонту при категорії складності ремонту в одну ремонтну одиницю залежно від виду ремонту ч / од .;

m_i - число ремонтів за рік;

R_{Σ_i} - сумарна категорія складності ремонту в залежності від виду електрообладнання;

S_i - вартість однотипних замінних елементів, грн .;

Π_i - кількість однотипних замінних елементів;

T_i - середній термін служби деталей даного типу, годин ;

T_{ϕ} - число годин роботи апаратури на рік, годин.

$$T_{\phi} = 7512$$

$$Zm.p. = 22,04 \times 2 \times 1 + \frac{250 \times 4}{6000} \times 7512 = 983,08 \text{ грн}$$

5.3.5 Інші витрати

По експлуатації об'єкта проектування включають витрати з охорони праці, на спецодяг та ін. Відповідно до практики, ці витрати визначаються в розмірі 4% від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу.

$$Z_{np} = \frac{4}{100} * C_3$$

$$Z_{np} = \frac{4}{100} * 59775,45 = 2391,02 \text{ грн.}$$

5.3.6 Витрати на електроенергію

Тарифи на електричну енергію для юридичних споживачів (крім населення) згідно з постановою НКРЕКУ від 24.04.2017 №538 "Про ринкове формування роздрібних тарифів на електричну енергію, що відпускається для кожного класу споживачів, крім населення, на території України" згідно II класу(напруги(До 27,5 кВ)) тариф складе 1.94 грн

Розрахуємо витрати на електроенергію згідно з виразу(5.8):

$$Z_{ел} = P_{ус} * t_{раб} * T_{ел} \quad (5.8)$$

де $P_{ус}$ – встановлена потужність, 5 Вт(згідно з паспортом приладу);

$t_{раб}$ – тривалість роботи приладу протягом року;

$T_{ел}$ – тариф на електроенергію, $T_{ел} = 1.94$ грн./кВт-годину.

Прилад контролює вологість і температуру у сушильній камері, тобто час роботи приладу буде залежати від роботи сушильної камери.

Розрахункова тривалість роботи сушильної року визначається згідно рівняння (5.9):

$$t_{\text{раб}} = [365 - B] \cdot t_{\text{сут}} - t_{\text{заг}} - t_{\text{ох}}, \quad (5.9)$$

де B – вимушені дні простою, крім того включають і профілактичний ремонт, $B = 30$ діб;

Час вантажно-розвантажувальних робіт визначаємо за формулою (5.10):

$$t_{\text{заб}} = t_{\text{п}} \cdot n = 8 \cdot 48 = 384 \text{ годин}, \quad (5.10)$$

де $t_{\text{п}}$ – час навантаження-розвантаження камери, $t_{\text{п}} = 8$ год, , $n = 48$ – число оборотів сушки камери в рік.

Час, який необхідно для охолодження деревини після висушування приймається 1 год на 1 см дошки

$$t_{\text{ох}} = 1 \cdot 3,0 \cdot 48 = 144 \text{ годин},$$

Тоді реальна тривалість роботи сушильної камери буде:

$$t_{\text{рем}} = [365 - 30] \cdot 24 - 384 - 144 = 7512 \text{ годин}$$

Отже час роботи приладу також дорівнює

$$t_{\text{раб}} \text{ вологоміра} = 7512 \text{ годин}$$

Тоді щорічні витрати на електроенергію складуть:

$$Z_{\text{эл}} = 5 \cdot 7512 \cdot 1.92 = 72.87 \text{ грн.}$$

За формулою експлуатаційні витрати склали:

$$C_{\text{пр}} = 72,87 + 2391,02 + 983,08 + 13150,60 + 59775,45 + 1947.29 = 78320,31$$

грн.

5.4 Розрахунок економії від впровадження прибору

5.4.1 Розрахунок додаткового обсягу продукції

C_o – Середньорічний обсяг продукції, що випускається – 2000 м³/рік

C_b – Середня вартість сушіння матеріалу – 233 грн/м³

У зв'язку з впровадження нового обладнання середньорічний обсяг продукції, що випускається збільшиться завдяки зменшенню часу сушіння.

Ємність камери 45 м³

Кількість оборотів камери - 48

$$\frac{2000}{48} = 41,66 \text{ - час одного циклу}$$

$$\frac{2000}{7512} * 41,66 = 11,09 \text{ годин /м}^3 \text{ - витрата часу на 1 м}^3$$

Кількість циклів на рік

$$k = \frac{(356 - 104 - 10) * 16}{11,09} = 349,14$$

зниження затрат у часі $\Delta t_{уд} = 0,25$ годин/цикл

$$\Delta Q_{уд} = \frac{45}{11,09} = 4,05$$

$$\Delta Q = \Delta Q_{уд} * \Delta t_{уд} * k = 4,05 * 349,14 * 0,25 = 353,5 \text{ м}^3$$

Тоді додатковий прибуток складе

$$\Delta C = 230 * 353,5 = 81305 \text{ грн}$$

Повна річна економія від впровадження прийнятого технічного рішення визначається з урахуванням експлуатаційних витрат по даному об'єкту:

$$E_{кп} = \Delta П, \text{ грн,}$$

$$\Delta П = \Delta C - C_{пр},$$

$$\Delta П = 81305 - 78320,31 = 2984,69 \text{ грн.}$$

5.4.2 Розрахунок економічної ефективності проекту

Нормативне значення коефіцієнта ефективності:

$$E_n = \left(\frac{\alpha_d + \alpha_{\text{інф}}}{100\%} \right) \left(1 - \frac{\alpha_{\text{ПДВ}}}{100\%} \right)$$

Де α_d – індекс банківської відсоткової ставки (11%)

$\alpha_{\text{ПДВ}}$ – індекс ПДВ (20%)

$\alpha_{\text{інф}}$ – індекс інфляції (11,4% станом на 2017)

$$E_n = \left(\frac{11\% + 11,4\%}{100\%} \right) \left(1 - \frac{20\%}{100\%} \right) = 0,1792$$

Період окупності нормативний складе:

$$T_{\text{окн}} = \frac{1}{E_n} = \frac{1}{0,1792} = 5,58$$

Реальний термін окупності розраховується за формулою

$$T_{\text{окр}} = \frac{K_{\text{пр}}}{\Delta\Pi}$$

де $\Delta\Pi$ – повна річна економія;

$K_{\text{пр}}$ – капітальні вкладення;

$$T_{\text{окр}} = \frac{9762,11}{2984,69} = 3,27$$

$$T_{\text{окн}} 5,58 \text{ года} \leq T_{\text{окр}} = 3,27 \text{ роки,}$$

Розрахунковий коефіцієнт ефективності (прибутковості) капітальних

витрат E_p :

$$E_p = \frac{\Delta\Pi}{K_{\text{пр}}},$$

де $\Delta\Pi$ – повна річна економія;

$K_{\text{пр}}$ – капітальні вкладення;

$$E_p = \frac{2984,69}{9762,11} = 0,31$$

Розрахунки показують, що вираз:

$$E_p = 0,31 > E_n = 0,1792,$$

виконується, а отже економічно підтверджується доцільність впровадження проекту.

Висновки

У техніко-економічному обґрунтуванні виконувалися розрахунки капітальних витрат на нове обладнання, яке було вибрано для в сушильну камеру. Проводився розрахунок обсягу експлуатаційних витрат, визначена річна економія від впровадження даного проекту. Розрахунок періоду окупності показав його прийнятність і технічну обґрунтованість для впровадження.

ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень отримані наступні результати:

1. На підставі огляду літературних джерел був проведений аналіз способів сушіння деревини, технологічний процес сушіння.
2. Розглянута сушильна камера деревини як об'єкт регулювання температури. На основі схеми системи автоматичного управління процесом сушіння пиломатеріалів були обрані прилади для автоматизації, описані їх характеристики
3. Був проведений технологічний розрахунок сушильної камери для трьох типів деревини, розраховано тривалість циклу сушіння для трьох видів деревини
4. Розглянуто контроль за вологістю деревини і внутрішніми напруженнями в процесі сушіння.
5. Виконано розрахунки капітальних витрат на нове обладнання, яке було вибрано для впровадження в сушильну камеру. Також виконано розрахунок обсягу експлуатаційних витрат, визначена річна економія від впровадження даного проекту.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Акиншенков С.И., Корнеев В.И. Проектирование лесосушильных камер и цехов. Учебное пособие. 3-е изд. перераб. и доп. – С.П.: Санкт-Петербургская лесотехническая академия, 1992. -88с.
2. Богданов Е.С., Козлов В.А., Пейч Н.Н. Справочник по сушке древесины. – М.: Лесная промышленность, 1981. -191с.
3. Богданов Е.С., Мелехов В.И., Кунтыш В.Б. и др. Расчет, проектирование и реконструкция лесосушильных камер. Под ред. Е.С. Богданова. – М.: Экология, 1993. -685 с.
4. Водяников В.Т. Организация и управление производством на сельскохозяйственных предприятиях. – М.: Колос, 2006. -506 с.
5. Гостев В.И. Системы управления с цифровыми регуляторами. Справочник. – Киев.: Техника, 1990. -280 с.
6. Емельянов А.И., Капник О.В. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. Справочное пособие. 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1983. -399 с.
7. Кречетов И. В. Сушка и защита древесины. – М.: Лесная промышленность, 1987. -372 с.
8. Пейч Н.Н., Царев Б.С. Сушка древесины. Учебник. 2—изд. перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1997. -220 с.
9. Расев А.И. Сушка древесины: Учебное пособие. Изд. 4-е. – М.: МГУЛ, 2000. -178 с.
10. Руководящие материалы по камерной сушке пиломатериалов. – Архангельск.: ЦНИИМОД, 1985.
11. Соколов П.В., Харитонов Г.Н., Добрынин С.В. Лесосушильные камеры. – М.: Лесная промышленность, 1987. -210 с.
12. Фёдоров Ю.Н. Справочник инженера по АСУТП: проектирование и разработка. – М.: Инфа-Инженерия, 2008. -928 с.
13. Юревич Е.И. Теория автоматического управления. – Л.: Энергия, 1969. -386 с.

14. Программируемы логический контроллер ОВЕН ПЛК110 (Электрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: http://www.owen.ru/catalog/programmiruemij_logicheskij_kontroller_oven_plk110/87986904 – Загол. з екрана.
15. Калорифер электрический ЭКО-25 (Электрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <http://ventorg.com/heating/electric-heaters/kalorifer-electricheskiy-eko-25> – Загол. з екрана.
16. UE005XD001 УВЛАЖНИТЕЛЬ (Электрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <http://termocom.ru/catalog/moisturing/izotermicheskie-uvlazhniteli/parovye-uvlazhniteli-s-pogruzhnymi-elektrodami/ue005xd001/> – Загол. з екрана.
17. Сушка древесины. Общие положения тепловой сушки древесины. Методические рекомендации - Тверь, 2002 г.
18. Голенищев А. Н., Добрынин С. В., Андреева А. А. Сушка и защитная обработка древесины.— М.: Лесн. пром-сть, 1984.— 80 с.
19. Болдырев П. В., Сушка древесины практическое руководство.— М.: ПРОФИКС, 2002.— 161 с.
20. Ткаченко С. Й., Співак О. Ю. Сушильні процеси та установки. Навчальний посібник. - Вінниця:ВНТУ, 2007. - 76 с.
21. Справочник по сушке древесины. Под редакцией Е. С. Богданова. Изд. Лесн. пром-сть. 1990
22. Сушка древесины / Расев А. - И. Изд. Высш. школа 1980
23. Сушка древесины. Технология сушки древесины. Режимы сушки древесины (Электрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <http://www.radioavt.ru/avtsushdrev.htm> – Загол. з екрана.

24. Методы сушки древесины: сушильные камеры, физика процесса (Электрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <http://wood.nestormedia.com/index.pl?act=PRODUCT&id=18> – Загол. з екрана.
25. Цели, задачи, терминология, используемая в процессе сушки древесины. (Электрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <http://paritet.prime-web.biz/dry.html> – Загол. з екрана.
26. Камерная сушка древесины (Электрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <http://atmwood.com.ua/2017/02/25/kamernaya-sushka-drevesiny/> – Загол. з екрана.
27. **Соколов П. В., Харитонов Г. Н., Добрынин С. В.** Лесосушильные камеры. 3-е изд., перераб. и доп. —М.: Лесн. пром-сть, 1987.— 184 с.
28. **Податковий кодекс України** (Электрон. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2755-17> – Загол. з екрана.
29. Агапов В.П. Прибор для дистанционного контроля влажности пиломатериалов при сушке / В.П. Агапов // Деревообрабатывающая промышленность, 1973, № 3. С. 12.
30. Андреева А.А. О требованиях к качеству сушки пиломатериалов / А.А. Андреева, Е.С. Богданов, С.И. Акишенков, А.Т. Быстров // Деревообрабатывающая промышленность. 1978. № 10. С. 3 – 5.
31. Берлинер М.А. Электрические измерения, автоматический контроль и регулирование влажности / М.А. Берлинер. М.: Энергия, 1965. 213 с.
32. ГОСТ 16483.0 – 78. Древесина. Методы отбора образцов и общие требования при физико-механических испытаниях. М.: Изд-во стандартов. 1986.
33. ГОСТ 16588 – 91 Пилопродукция и деревянные детали. Методы определения влажности. М.: Изд-во стандартов, 1992.
34. ГОСТ 19773-74. Пиломатериалы хвойных и лиственных пород. Режимы сушки в камерах периодического действия. Типовые технологические процессы // Пиломатериалы. Заготовки. Деревянные детали. М.: Изд-во стандартов, 1979.

35. Дьяконов К.Ф. Влияние высокотемпературных режимов сушки на прочность древесины сосны / К.Ф. Дьяконов // Деревообрабатывающая промышленность. 1965. № 1.

36. Кречетов И.В. Ускорение сушки пиломатериалов повышением температуры процесса / И.В. Кречетов, Б.С. Царев // Деревообрабатывающая промышленность. 1955. № 1.