

Міністерство освіти і науки України
Управління освіти і науки
Рівненської обласної державної адміністрації
Рівненська мала академія наук учнівської молоді

***ФІЗИЧНІ ПРОЦЕСИ ТА ЕКОНОМІЧНО-
ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ
ШТУЧНОГО СУШІННЯ
ПИЛОМАТЕРІАЛІВ***

Роботу виконав
Васюта Роман Васильович,
учень 9-А класу
Соснівського НВК „гімназія-
загальноосвітня школа І ступеня”

Керівник
Васюта Василь Антонович,
вчитель фізики

Соснове 2008

ЗМІСТ

Вступ	3
Основна частина	
1. Необхідність процесу сушіння деревини.....	5
2. Основні типи сушильних камер.....	6
3. Економіка промислового процесу сушіння пиломатеріалів.....	7
4. Вимоги до якості сушіння, ресурсозбереження та технологічні проблеми.....	8
5. Вибір способу сушіння деревини.....	9
6. Поняття про режим сушіння	10
7. Кінцевий процес сушіння пиломатеріалів їх кондиціювання та контроль висушеної деревини.....	11
8. Фізичні процеси сушіння пиломатеріалів.....	12
8.1. Пружнов’язкі властивості деревини під час сушіння.....	12
8.2. Вплив вологості на всихання деревини.....	12
9. Аеродинаміка сушильних камер.....	14
9.1. Рух повітря та розподіл тиску.....	14
9.2. Розрахунок потужності вентилятора.....	15
9.3. Способи досягнення рівномірного розподілу повітря по довжині та висоті сушильної камери.....	16
10. Розрахунок енергії на нагрівання та випаровування вологи з деревини.....	18
11. Оцінка затрат різних видів палива та електроенергії.....	19
Висновки.....	20
Список використаної літератури.....	21
Додаток.....	22

ВСТУП

Посіяне на полі науковому
зійде на користь народу.

Дмитро Менделєєв

Поштовхом для написання цієї роботи стало моє сьогоднішнє, мій край, де я живу і навчаюсь. Кожен день я бачу, як великі машини вивозять ліс-кругляк та сирі пиломатеріали. І не дивно! Бо тут знаходиться велике лісове господарство та переробні цехи, основною продукцією яких є свіжоспилений ліс та сирі дошки.

Об'єктом мого дослідження буде технологічний процес сушіння деревини, який дійсно тісно пов'язаний з виробничими процесами господарств моєї місцевості. Широке його застосування приведе до створення нових робочих місць та отримання прибутку. Заодно вивчу фізичні процеси, що відбуваються з деревиною під час сушіння.

Варто зазначити, що вибрана мною тема є актуальною. Бо процес сушіння є досить енергомісткий, і застосування старих електричних сушильних камер збільшує ціну висушеної деревини, що робить її не досить конкурентноспроможною на ринку.

Важливим є те, що значна частина лісового фонду розміщена навкруги селища; лісоматеріали беруть участь у процесах виробництва, як сировина. Але люди ще здавна розуміли, що оброблення сирого матеріалу збільшує його цінність. „У цьому явищі є і велика таємниця отримання прибутку – писав ще 1622 році автор доповідної записки англійському королю Якову I- якщо сирі матеріали цього королівства будуть оброблятися руками свого ж народу, то королівство стане багатим і щасливим. У перетворенні сирих матеріалів на промислові вироби міститься таке величезне і стале нагромадження коштів, що його не можливо описати”.

На вартості обробленої сировини можна заробляти великі гроші, так вважають і прихильники теорії маркетингу, якщо обмежити вивіз сирих матеріалів, а продавати

лише промислову продукцію. Так, дійсно, і я вважаю це правильно. Для того, щоб не продавати сировину, треба створювати умови для вторинного виробництва, або спеціалізації деревопереробки (від сировини до готової продукції). На базі підприємств мого селища для цього є всі умови, тобто ліс – як сировина, „Лісове господарство” – як підприємство, навіть професійний ліцей, де навчають кваліфікованих столярів та підприємці.

Надіюсь за цим перспектива і майбутнє!

Мета роботи. Вивчити фізичні процеси, що відбуваються в процесі сушіння деревини. Теоретично розрахувати необхідні затрати тепла та джерела його отримання від різних видів палива.

Оцінити грошові витрати різних видів палива та показати застосування економічно-вигідних та практично можливих видів палива.

Провести розрахунки аеродинамічних показників, як основного компоненту сушильних камер.

Вивчити причини утворення дефектів деревини та вказати шляхи їх запобігання.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

1. Необхідність процесу сушіння деревини

Деревина, що використовується в будівництві, машинобудування, меблевому та інших виробництвах тільки після достатнього висихання набуває біологічної стійкості проти гниття, зберігає форму і розміри деталей в виробках.

Зі зменшенням вологості зростає механічна міцність, і одночасно деревина стає легшою. Також покращуються технологічні властивості – чистота розпилювання, фугування, шліфування, міцність склеювання та якість обробки готових виробів. Одночасно зростає питома теплота згоряння, що є досить корисним при використанні в якості палива.

Важливе значення має точність сушіння деревини. Вагомий недолік невисушеної чи недосушеної деревини: її послідовне зменшення розмірів в напрямку перпендикулярному до довжини волокон, виникнення внутрішньої механічної напруги з послідовними деформаціями. Внаслідок цього вироби за короткий термін після виготовлення втрачають свої якості. Двері, коробки, підлога і перекриття, виготовлені з погано висушеної деревини, через деякий час розсихаються, коробляться, тріскає штукатурка на перекриттях, конструктивні дерев'яні елементи вражаються грибками. При появі грибків виду *Merulius Lacrimans* необхідно терміново перебирати дерев'яні конструкції і спалювати вражені деталі.

Отже стає очевидним, що збитки при використанні пагано висушеної деревини в декілька разів перевищують початкову вартість самої деревини.

Пиломатеріали необхідно сушити на місці їх розпилювання, відразу і бажано в одному потоці. Процес сушіння необхідно розглядати як складову частину технології виготовлення дощок і заготовок. Невисушену деревину не можна рахувати матеріалом, тим більше товарною продукцією для реалізації, - це ще напівфабрикат. З лісопильних підприємств споживачам мають відвантажуватися

сухі пиломатеріали, бо при транспортуванні сирової деревини додатково використовуються кошти на перевезення великої кількості води (40-60% маси). Крім того волога деревина в дорозі псується: синіє, пліснявіє, вражається грибками.

Неправильний процес сушіння приводить до значних втрат, до виникнення механічних напруг, короблення і розтріскування матеріалу. Сушіння деревини має низьку собівартість, приблизно 7-12% вартості висушеної деревини. Витрати на влаштування сушільних камер за період їх дії складає лише 2-3% вартості висушеної деревини.

З усього цього слідує, що необхідно влаштовувати процеси сушіння пиломатеріалів безпосередньо на лісопильних підприємствах.

2. Основні типи сушільних камер

На даний час в промисловості застосовуються такі типи сушільного обладнання:

1. Газова сушільна камера. Вона складається з двох елементів: котла, в якому згоряє паливо і камери, в яку подаються гарячі гази де і проходить процес виділення вологи з матеріалу. Тепловий ККД сягає 60%.
2. Сушільна камера з вогняним калорифером. Продукти згоряння, отримані в печі, проходять повз стінки калорифера, з другої сторони якого подається повітря. Внаслідок чого воно нагрівається і направляється до пиломатеріалів. Тепловий ККД сягає 50%.
3. Парова сушільна камера. Продукти згоряння з печі направляються в котел. Там з води утворюється пара, яка поступає в паровий калорифер, розміщений в камері. Повітря, проходячи через калорифер, нагрівається і подається до матеріалу. Тепловий ККД сягає 30%.
4. Парова сушільна камера з електрогенератором. На великих переробних підприємствах пара, отримана в котлі, подається на парову турбіну електрогенератора. За рахунок чого виробляється електроенергія. Відпрацьована пара подається в тепловий калорифер сушільної камери. Тепловий ККД сягає 40%.

5. Вакуумні сушильні камери. Піломатеріали знаходяться в герметично закритій камері, яка піддається нагріву, а електронасоси відкачують повітря з камери, створюючи, таким чином, вакуум. При цьому проходить швидке виділення води у вигляді пари при невисоких температурах. Процес сушіння є високоякісним, але висока собівартість камери та складна її експлуатація. Тепловий ККД сягає 30%.
6. Сушіння деревини струмом високої частоти. Деревина поміщується між електродами, на які подається струм високої частоти. Проходить процес нагрівання самої деревини та виділення вологи рівномірно з усього об'єму. Якість сушіння є високою, але саме обладнання є дорогим. Може чинити негативний вплив на обслуговуючий персонал. Тепловий ККД сягає 4%.

Ознайомившись з основними типами, можна зробити висновки, що сушильна камера повинна містити невелику кількість елементів, бути простою при будівництві та експлуатаціях.

3. Економіка промислового процесу сушіння піломатеріалів

Сушити піломатеріали є доцільним на місці їх виготовлення, тобто на лісопильних підприємствах. Це має свої переваги:

1. Піломатеріали не псується в теплий період під час перевезення та зберігання. Є неможливим їх враження грибками та гниллю.
2. Значно зменшується маса транспортуючих піломатеріалів (на 40-60%).
3. Зменшується собівартість процесу сушіння за рахунок використання дешевого палива, деревовідходів.
4. Зменшується собівартість виробничих витрат, пов'язаних з подвійною погрузкою та вкладанням піломатеріалів у штабель.
5. Покращується якість висушеної деревини в умовах великого виробництва, в якому задіяна сучасна техніка, високі технології і кваліфіковані працівники.

Економічно вигідна також атмосферна сушка пиломатеріалів, які використовуються як вироби за межами опалювальних приміщень, а також перед сушінням в камерах.

Можлива послідовноподвійна конвекторна теплова сушка пиломатеріалів:

Перший етап- до вологості 20-24% на відкритому повітрі.

Другий етап – у закритій камері до вологості 6-10%.

При атмосферному підсушуванні пиломатеріалів і досушуванні їх в камерах різко зростає якість сушіння, особливо твердих порід. Такий процес сушіння бажано використовувати при виготовленні меблів, моделей, лиж, музичних інструментів, спортивного обладнання.

4. Вимоги до якості сушіння, ресурсозбереження та технологічні проблеми

В процесі сушіння деревини відбувається не тільки міграція вологи з середніх зон матеріалу до його поверхні, але і складні прояви деформацій як зворотніх (пружних), так і не зворотніх. Від цього залежить якість деревообробки по відношенню до якості виробів.

Так як сам процес сушіння має бути якісним, то необхідно чітко дотримуватися всіх технологічних вимог. Процес починається із складання пиломатеріалів у штабель. Пиломатеріали повинні мати однакову товщину, ширина прокладок має бути достатньою, щоб запобігти вдавлюванню у нижній частині штабеля, і недостатньо широкою, щоб запобігти посинінню деревини під ними. Доцільним є використання прокладок шириною 35-40 мм, товщиною 25 мм. Прокладки необхідно використовувати сухі, без сучків, після калібровки на рейсмусовому верстаті, при фугуванні однієї сторони.

Відстань між прокладками по довжині штабелю (крок прокладок) залежить від породи деревини, товщини і ширини матеріалу, кінцевої вологості і довжини деталей, що будуть вирізані. Для хвойних пиломатеріалів крок приймають 20-ти кратній товщині пиломатеріалів. Для дубових і букових пиломатеріалів крок становить 15-ти кратній товщині.

По висоті штабеля прокладки розміщують вертикально з допуском зсуву до 2 см. Нижня прокладка розміщується над опорою чи міцною основою.

Ширину штабеля обмежують 2,4 м. При використанні реверсних вентиляторів ширина може бути збільшеною в 1,5 рази.

Для запобігання короблення верхніх шарів пиломатеріалів, їх необхідно притиснути. Сила тиску повинна відповідати вазі 7-10 рядів вкладеного матеріалу

(приблизно 1,5-2,5 т) на штабель.

5. Вибір способу сушіння деревини

(в досках чи в заготовках)

Згідно технологічного процесу обробки деревини на підприємствах, сушильний цех знаходиться між лісопильним та деревообробним (мебельним, столярним). Заготовки для деревообробного цеху, можуть бути вирізані з сирих дошок, перед процесом сушіння, або із сухих, після сушіння.

В першому випадку в сушильних камерах – сушать заготовку, а в другому – сушать дошки.

Вибір того, або іншого способу сушіння визначає місце розпиловки дошок в технологічному процесі виробництва, характер складу сушильного цеху, умови погрузки пиломатеріалів для сушіння і їх вивантаження після сушіння, а також спосіб їх транспортування, до і після сушіння.

Переваги сушіння в дошках, або в заготовках, в певній мірі залежать від характеристики дошок; чим нижча сортність деревини і більше паливних відходів одержуємо при її розпилові, тим вигідніше сушити в заготовках. Однак складання заготовок для сушіння – процес більш трудомісткий ніж складання дощок. При довгому сушінні деревини твердих листяних порід, коли ціна погруз очних робіт займає невелику долю в загальній вартості сушіння, більш вигідним може бути сушіння грубих сортів в заготовках (особливо в порівнянні з сушінням необрізних дошок).

Для вибору того чи іншого способу впливають і розмір і розмаїття заготовок: маленькі і різні по сортах заготовки важко складати, транспортувати і сортувати. Чим дрібніші заготовки, тим доцільніше сушіння деревини в дошках. На вибір способу сушіння впливає також ціна палива і електроенергії. Якщо паливо дешевше тоді його економія при сушінні в заготовках не дає великої ефективності.

Сушіння в заготовках явно не доцільне при сушінні обрізних пиломатеріалів хвойних порід. Суттєво, що при розпилові сухих дошок на заготовки, корисний вихід деревини більший, ніж при розпилові сирої з послідуєчим сушінням заготовок. Крім цього штабелювання деревини при сушінні в дошках може бути механізованим.

Порівняльна ефективність сушіння в дошках зростає по мірі зростання ціни на деревину і вдосконалення сушильної техніки.

На лісорозпиловочних заводах і в цехах при дешевому паливі доцільно сушити деревину в дошках, навіть необрізних і низькосортних. По мірі розвитку сушильного виробництва безперервно знижуються число підприємств, на яких деревина твердих порід сушиться в заготовках.

6. Поняття про режим сушіння

Режимом сушіння називається сукупність тепловологих дій сушильного елемента (повітря) на матеріал, забезпечуючи певну кількість і швидкість сушіння. Режими сушіння подають у вигляді розкладу температур повітря, його психрометрична різниця і вологість матеріалу, які міняють в процесі сушіння. На даний процес впливає швидкість руху повітря по матеріалу, яка зазвичай залишається постійною в сушильці.

Температуру повітря, як сушильного елемента для пиломатеріалів доцільно розглядати розділеною на дві складові – температура по мокрому термометру, яка чинить специфічну теплову дію на фізико-механічні властивості матеріалу, який сушиться і психрометричну різницю, як параметр інтенсивності випаровування вологи з поверхні вологого і гігроскопічного матеріалу.

Температура вологого термометра співпадає з температурою вологої деревини на початку процесу сушіння.

Температура сухого термометра показує температуру самого середовища камери.

7. Кінець процесу сушіння пиломатеріалів їх кондиціювання та контроль висушеної деревини

Час закінчення сушіння визначають по вологості, визначеної електричним вологоміром в шести місцях штабеля. При закінченні сушіння хвойних і особливо твердих листяних порід (бук і дуб) висушено деревину кондиціонують (витримують) методом кінцевої волого термообробки. При цьому спадають пружні деформації і вирівнюється вологість матеріалу, як по товщині так і по об'єму штабелю.

Метод кондиціювання являє собою зволоження поверхневої зони перегрітою парою.

Час кондиціювання залежить від породи деревини, призначення, товщини і кінцевої вологості матеріалу. Наближену можна рахувати, що час кондиціювання складає 3-5% від часу сушіння швидкосохнучого матеріалу, 5-8% для твердих порід.

Загальна залежність зміни часу кондиціювання може бути дана у вигляді степеня $\frac{3}{2}$ від часу сушіння (діб). Після закінчення кондиціювання матеріал залишають в закритій виключеній камері. При охолодженні з нього виділяється частина залишкової вологи. Час такого охолодження – 0,5 часу нагрівання. Потім частково відкривають двері і залишають матеріал на час 0,2 від часу нагрівання. В охолодженої деревини вирівнювання вологості і напруги проходить дуже повільно, тому на складі деревина зберігається, а не кондиціонується.

Більш точний час сушіння може бути одержаний дослідним шляхом – вимірюванням фактичних внутрішніх деформацій в висушеному матеріалі. В момент після розпилювання зразка і вирівнювання вологості шарів. В матеріалі товщиною 30-50 мм - зразок розпилюють в три шари, а в товстіших на 5 рівних шарів.

8. Фізичні процеси сушіння пиломатеріалів

8.1. Пружнов’язкі властивості деревини під час сушіння

Властивості деревини, як пружнов’язкого тіла необхідно знати тому, що одним із основних дефектів процесу сушіння є внутрішні тріщини. Процес може бути пояснений утворенням і нагромадженням залишкової деформації в нагрітій вологій деревині. По цій причині поверхневі тріщини на початку процесу сушіння часто не виникають, навіть при великому перепаді вологості по товщині пиломатеріалів. Крім того внаслідок проявів залишкової деформації змінюється величина всихання, і стає неможливим короблення правильно складеного матеріалу. Ця важлива властивість деревини має бути правильно використана для більш якісного висушування пиломатеріалів.

При розгляді процеси сушіння деревини зручно аналізувати пружні деформації, а не напруги, оскільки:

- а) залишкова напруга нереальна;
- б) немає необхідності в визначенні модулів пружності (достатньо виміряти пружні деформації, що виникли);
- в) більш доступним для аналізу стає явище релаксації – переходу пружної деформації в пластичну при постійній їх сумарній величині;
- г) залишкові деформації, як правило, перевищують межі міцності.

8.2. Вплив вологості на всихання деревини

При зменшенні вологи в деревині, тобто при вологості 30%, водяний шар між мікроцилюлозами зменшується, і деревина всихається. При зміні в деревині кількості вільної вологи (більш як 30%) розміри клітин залишаються незмінними. Таким чином, межа гігроскопічності (приблизно 30%)- це одночасно межа всихання деревини. Всихання і зворотній процес – набухання – це невід’ємна властивість природної деревини, характерна вада для матеріалів. Якщо штучно знизити гігроскопічність (нагріти, або змочити смолами), зменшиться її всихання. Вирішення цієї задачі є актуальним для промисловості, і відноситься до наукових проблем великого техніко-економічного значення.

В зв'язку з анізотропністю (неодинакові властивості в різних напрямках) будови всихання деревини є неоднаковим в різних напрямках. По довжині волокон вона найменша (приблизно 0,1%) при видаленні із деревини всієї вологи. Тільки комлева деревина має властивість більш повздовжнього всихання (до 5%). По напрямку річних шарів всихання найбільше 8-12%. Всихання по радіусу стовбура 4,5-8%, майже в два рази менше ніж по напрямку річних шарів.

Величина сушіння по об'єму приблизно відповідає об'єму випаровування із деревини зв'язаної вологи. Якщо деревина більш твердих порід містить в одиниці об'єму більше зв'язаної вологи, то і більше всихає. Деревина дуба характеризується великим всиханням.

Всихання відображається через густину деревини. В практикуванні розрахунків сушильних камер застосовують незв'язуючу від всихання базову густину деревини ρ_6 (кг/м³), під якою розуміють відношення маси деревини в абсолютно сухому стані m до її об'єму v , при вологості 30%.

$$\rho_6 = m : v$$

З врахуванням поняття базова вологість зручно розрахувати кількість

M (кг/м³) вологи, що випаровується при сушінні 1 м³ деревини, не дивлячись на зміни її об'єму

$$M = \rho_6 (W_n - W_k) \cdot 100, \text{ де}$$

W_n – вологість деревини до сушіння, %

W_k – вологість деревини після сушіння, %

Величина сушіння, віднесена до 1% - зменшення кількості випарованої вологи, називається коефіцієнтом K всихання.

Для визначення всихання потрібно випилювати тоненькі пластинки (перпендикулярно довжині волокон) і помаленьку сушити, періодично вимірюючи їх масу і розміри.

В деякому разі величину всихання деревини можна корегувати, випилювати пиломатеріали відповідних розмірів, застосовуючи режими сушіння, які сприяють утворенням розтягуючих пластичних деформацій, не виключаючи впливу на деревину зовнішніх чинників.

9. Аеродинаміка сушильних камер

9.1. Рух повітря та розподіл тиску

В зв'язку з розвитком сушильної техніки в напрямку закритих сушильних камер особливе значення набуває специфіка аеродинаміки повітряних потоків. При сушінні пиломатеріалів на практиці, а також проектуванні камер необхідно розв'язати ряд специфічних задач, що відносяться до аеродинаміки.

Навіть достатнє нагрівання пиломатеріалів у камері не гарантує виникнення псування деревини у вигляді посиніння та плісняви. Це як правило, трапляється при недостатньому русі повітря через штабель чи його частини. Пряме збільшення потужності повітряного потоку приводить тільки до нераціонального використання електроенергії і не рятує від посиніння в так званих „мертвих зонах”.

Пиломатеріали сушать складеними в штабель на горизонтальних, перпендикулярних до довжини перекладинах, перерізом 25x40 мм. Стандартні габарити штабеля 6,6x2,4x3 м. Повітряний потік підводить до матеріалу тепло і забирає вологу. Його направляють в горизонтальні проміжки висотою 25 мм між рядами дощок вздовж перекладінок. Шлях, що проходить повітря по матеріалу значний- 2,4 м, а час обдування ним матеріалу $t=2,4:3=0,8$ с.

Розрахункова швидкість повітря по матеріалах хвойних порід має бути 3 м за секунду. Для стандартного по розмірах штабеля необхідна кількість повітря v

$$V = S \cdot l; S = H \cdot h \cdot 0,25 \cdot l = 3 \cdot 0,5 \cdot 0,25 \cdot 6,6 = 9,9 \text{ м}^2$$

$$l = u \cdot t = 3 \cdot 0,8 = 2,4 \text{ м}$$

$$V = 9,9 \cdot 2,4 = 23,76 \text{ м}^3/\text{с, або}$$

$$V = 23,76 \cdot 3600 = 85500 \text{ м}^3/\text{год}$$

Головною вимогою до аеродинаміки потоку повітря, що подається до пиломатеріалу_ є рівномірне розподілення у штабелі як по довжині_ так і по висоті, причому з однаковими параметрами для того, щоб матеріал висихав рівномірно по всьому об'єму. Найкраще це досягається, коли періодично змінювати потік повітря на протилежний, застосувавши процес реверсування.

Різниця тисків повітря при дії вентиляторів не перевищує 950 Па, тобто менше 1% від атмосферного тиску. Тому стискання повітря можна не враховувати, оскільки при переміщенні його в каналах не змінюється ні кількість, ні густина. Застосуємо рівняння неперервного потоку

$$V=S \cdot u = S_1 \cdot u_1$$

Звідси переріз каналів і швидкість повітря в них $F=V:u = F_1 \cdot u_1:u$, або

$$u=V:S=S_1 \cdot u_1: S$$

де S, S_1 – площі каналів

u, u_1 – швидкості руху повітря

V – об'єм повітря

При постійному русі повітря і малому терті для двох перерізів прямолінійного каналу, перпендикулярного потоку, застосуємо Закон збереження енергії, що записується рівнянням Бернуллі

$$H=H_{ст.1} + \rho \cdot u_1^2/2 = H_{ст.2} + \rho u_2^2/2 = \text{const (Па)}$$

де $H_{ст.1}$ і $H_{ст.2}$ - статистичний тиск в першому і другому каналах. Алгебраїчна сума статистичного і динамічного тисків утворює повний тиск

$$H=H_{ст.} + H_{д}; H_{д} = \rho u^2/2$$

Динамічний тиск завжди додатній, статистичний може бути від'ємний (розрідження). Отже для збільшення H – необхідно слідкувати, щоб у камері не утворювався від'ємний статистичний тиск. Цього можна досягти поступовим збільшенням ширини каналу та заокругленням його прямокутних країв, радіусами рівними $1/2$ ширини каналу. Всі вхідні отвори для повітря необхідно заокруглити, або встановити раструби. В місцях випадкового різкого розширення, або звуження каналів необхідно ставити перехідні дифузори. Центральний його кут не більше 8° . Швидкість повітря в дифузорі поступово знижується, потік не відривається від стінок, і динамічний тиск не перетворюється в статистичний.

9.2. Розрахунок потужності вентилятора

Робота, затрачена на переміщення повітря в каналі, рівна добутку повного тиску H (Па), на об'єм рухомого повітря V ($\text{м}^3/\text{сек.}$). Тиск H являє собою силу, що діє на 1 м^2 перерізу потоку повітря, а V ($\text{м}^3/\text{сек.}$) шлях переміщення повітря в каналі

перерізом 1 м^2 , тоді добуток $H \cdot V$ визначає роботу за 1 с, тобто потужність. Таким чином, потужність, що витрачається на переміщення потоку повітря, без врахування ККД вентилятора, становить

$$N = H \cdot V : 1000 \text{ (кВт)}$$

Зрозуміло, що об'єм холодного повітря менший за об'єм гарячого, тому бажано з метою економії енергії встановити вентилятори перед калорифером, щоб через них проходив потік не нагрітого повітря, тобто меншого об'єму.

Розрахуємо потужність вентилятора для сушіння 1 м^3 сосни.

Об'єм повітря, який проходить за 1 секунду, через куб стороною 1 м при швидкості 3 м/с становить:

$$V = S \cdot l = 0,5 \cdot 1 \cdot 3 = 1,5 \text{ м}^3$$

Тиск, який створює вентилятор становить 200 Па. Згідно формули $N = H \cdot V : 1000$ (кВт) $N = 200 \cdot 1,5 : 1000 = 0,3 \text{ кВт/м}^3$.

Врахувавши ККД вентилятора ($\eta = 0,75$) потужність двигуна має становити:

$$N = 0,3 : 0,75 = 0,4 \text{ кВт /м}^3$$

Застосування пауз дозволяє зменшити затрати електроенергії майже у два рази, за рахунок зменшення часу роботи вентиляторів.

9.3. Способи досягнення рівномірного розподілу повітря по довжині та висоті сушильної камери

Одним із способів досягнення рівномірного розподілу повітря по довжині камери є застосування великої кількості малих вентиляторів з верхнім розміщенням по всій довжині камери. При цьому повітря може мати меншу швидкість, але досягається продув по всьому штабелю за рахунок подачі повітря в поперек матеріалу, паралельно перекладинам.

Другий спосіб полягає в торцьовому підведенні повітря від одного вентилятора і розподіленні його в камері по довжині з використанням розподільного каналу. Ця технічна задача має розв'язок: якщо швидкість повітря розподільних отворів буде в три рази перевищувати його швидкість у вхідному отворі каналу, то для досягнення цього відносна площа отворів на кожен метр довжини повинна складати відношення 3: 2: 1, відповідно в кінці, посередині і на початку каналу.

Для рівномірного розподілу повітря по висоті штабеля необхідно рівномірно подавати повітря в боковий простір між штабелем та матеріалом. При збільшенні проміжку повітря по висоті штабеля розподіляється рівномірніше. Дослідним шляхом встановлено, що проміжок повинен складати не менше половини товщини всіх перекладин. При висоті штабеля 3 м і товщині матеріалу 50 мм кількість перекладинок $N=3:0,05=60$. Їх товщина 25 мм. $2 D=60 \cdot 0,025=1,5$ м. $D=0,75$ м.

Ширину проміжку можна значно зменшити, застосувавши відбивний екран. При верхньому розміщенні осьових вентиляторів екран донизу зменшує площу проміжку і сприяє більш рівномірному розподілу рухомого повітря по висоті.

Цього ж можна досягти трапецеподібним вкладанням матеріалу з нижнім розширенням. При цьому необхідно слідкувати за рівномірним зменшенням ширини штабеля. Виступи пиломатеріалів можуть привести до утворення розрідження і виникнення від’ємного статистичного тиску. При цьому може змінитися напрям та швидкість руху нижчевиступаючих рядів.

10. Розрахунок енергії на нагрівання та випаровування вологи з деревини

Для спрощення розрахунки проведемо для одного метра кубічного деревини сосни. Оцінімо масу води, яка міститься у свіжоспиленій деревині: $\rho_v = 860 \text{ кг/м}^3$; $\rho_c = 520 \text{ кг/м}^3$.

$$m = 860 - 520 = 340 \text{ кг.}$$

Кількість теплоти необхідна для нагрівання води на 50°C :

$$Q = cm \Delta t = 4200 \cdot 340 \cdot 50 = 71400000 \text{ Дж} = 71,4 \text{ МДж}$$

Кількість теплоти необхідна для нагрівання деревини:

$$Q = cm \Delta t = 2700 \cdot 520 \cdot 50 = 70,2 \text{ МДж.}$$

Кількість теплоти для нагрівання повітря, з яким виноситься волога з камери. По-перше, оцінімо який об'єм повітря необхідно пропустити через камеру, щоб випарувати 320 кг води. При температурі 10°C густина насиченої пари становить $9,4 \text{ г/м}^3$, а при 50°C – 83 г/м^3 . Отже при нагріванні 1 м^3 повітря від 10 до 50°C можна випарувати $83 - 9,4 = 73 \text{ г}$ води.

$$V = 320 : 0,073 = 4383 \text{ м}^3 \text{ повітря.}$$

Знайдемо масу цього повітря

$$m = \rho \cdot v = 1,29 \cdot 4383 = 5654 \text{ кг}$$

Оцінімо затрати тепла для нагрівання цієї маси повітря:

$$Q_{\text{п}} = Cm \Delta t = 1000 \cdot 5654 \cdot 50 = 282,73 \cdot 10^6 \text{ Дж} = 282,73 \text{ МДж.}$$

Оцінімо кількість теплоти необхідної для випаровування води:

$$Q_{\text{в}} = Lm = 2,3 \cdot 320 = 736 \text{ МДж}$$

Загальна кількість теплоти необхідна для цього процесу буде становити:

$$Q = 71,4 + 70,2 + 282,3 + 736 = 1160 \text{ МДж}$$

Врахувавши теплові витрати (40%), отримаємо $Q = 1160 : 0,6 = 1933 \text{ МДж}$.

11. Оцінка затрат різних видів палива та електроенергії

1. Електроенергія. Як відомо 1 кВт годин = 3,6 МДж.

$$N=Q:3,6=1933:3,6=537 \text{ кВт год.}$$

$$Ц=537 \cdot 0,5=268,5 \text{ грн.}$$

2. Природний газ. Питома теплота згоряння становить 35,3 МДж/м³, густина 0,74 кг/м³. $V=Q:q=1933:35,3=54,6 \text{ м}^3$.

$$Ц=54,6:1000 \cdot 960=52,4 \text{ грн.}$$

3. Дизельне паливо. Питома теплота згоряння 42 МДж/кг, густина 800 кг/м³.

$$m = Q:q=1933:42=45,5 \text{ кг. } V=45,5:0,8=56,87 \text{ л.}$$

$$Ц= 56,87 \cdot 5=283,9 \text{ грн.}$$

4. Дрова. Питома теплота згоряння 12 МДж/кг.

$$m=Q:q=1933:12=160 \text{ кг.}$$

$$V=m: \rho =160:520=0,30 \text{ м}^3$$

$$Ц=0,30 \cdot 50=15,46 \text{ грн.}$$

Собівартість кількості теплоти на сушіння 1 м³ деревини сосни.

Таблиця 1.

Вид палива	Одиниці вимірювання	Ціна
Електроенергія	537 кВт год	268,5 грн.
Природний газ	54,6 м ³	52,4 грн.
Дизельне паливо	45,5 кг	284 грн.
Дрова	160 кг	15,46 грн.

ВИСНОВКИ

Дослідивши фізичні процеси сушіння пиломатеріалів в закритих камерах, я з'ясував, що затрати теплоти сягають 1500 МДж на 1 м³ деревини сосни. Як паливо, доцільно використовувати сухі деревовідходи, що спонукає до створення закритого циклу: розпилювання - сушіння – виготовлення виробів. Оскільки об'єм виробу складає тільки 30% від об'єму затраченої деревини, то відходів буде достатньо для отримання тепла на процес сушіння та обігріву виробничих приміщень.

Мною було встановлено, що причинами утворення тріщин при сушінні є швидке видалення вологого повітря. Для запобігання цього я пропоную контролювати температуру в камері двома термометрами (сухим і вологим) та слідкувати, щоб різниця їх показників зростала поступово, із зниженням вологості деревини від 7⁰С до 12⁰С.

Я дослідив, що недопустимим є нагрівання деревини до температури більше 60⁰С, бо при цьому деревина втрачає міцність і розшаровується.

Для рівномірного висушування необхідно застосовувати більшу кількість невеликих осьових вентиляторів з верхнім розміщенням. Це дає змогу застосовувати реверсні режими та збільшувати ширину штабеля.

Для економії електроенергії та підвищення якості сушіння я пропоную застосовувати паузи в процесі роботи вентиляторів. Під час таких пауз вирівнюється вологість деревини, що запобігає утворенню тріщин.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Брилик А.М. и др.. Теплотехника и теплоснабжение предприятий. М.Лесная промышленность. 1998 г. 453 ст.
2. Головков И.М. и др. Энергетическое использование древесных отходов. М. Лесная промышленность. 1987 г. 221 ст.
3. Кречетов И.В. Сушка древесины. М. «Бриз» 1997 г. 500 ст.

ДОДАТОК