

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ  
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

**БЕХТА  
ПАВЛО АНТОНОВИЧ**



**НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ ОСНОВИ ВИГОТОВЛЕННЯ  
ДЕРЕВИННОСТРУЖКОВИХ ПЛИТ  
ІЗ ЗАДАНОЮ СТРУКТУРОЮ ТА ВЛАСТИВОСТЯМИ**

Спеціальність 05.05.07: "Машини і технологія лісовиробничого  
комплексу"

**Автореферат**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук



00760073 (N)

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Українському державному лісотехнічному університеті.

**Офіційні опоненти:** Іноземцев Георгій Борисович, професор,  
доктор технічних наук (м.Київ, Україна)  
Гумницький Ярослав Михайлович,  
професор, доктор технічних наук  
(м.Львів, Україна)  
Онисько Володимир, професор, доктор  
габілітований (м.Варшава, Польща)

**Провідна установа:** Український проектно- конструкторський  
інститут лісової промисловості

Захист дисертації відбудеться " 19 " листопада 1996 року в  
14<sup>30</sup> год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 04.03.01  
Українського державного лісотехнічного університету (290057, м.Львів,  
вул. ген. Чупринки,103, зал засідань).

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Українського  
державного лісотехнічного університету (290057, м.Львів, вул.  
ген.Чупринки,101).

Автореферат розісланий " 8 " жовтня 1996 року.

Вчений секретар спеціалізованої  
вченої ради, професор  Б.В.Прокопович

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Велике народногосподарське значення енерго- і трудомістких, тривалих і складних за своєю фізичною суттю технологічних операцій процесу виготовлення деревинностружкових плит (ДСП) і розширення сфери застосування їх у різних галузях промисловості диктує вимогу наукового підходу до керування процесом їх виготовлення, формування структури і розробки плит із заданою структурою та властивостями. Тому дуже важливим є розвиток теорії процесу структуроутворення плит. Без цього неможлива науково обгрунтована побудова технології і пошук шляхів інтенсифікації процесу, розробка надійних методів його розрахунку, необхідних для обгрунтованого проектування нового і експлуатації існуючого обладнання. Процес структуроутворення ДСП визначається впливом на нього значної кількості найрізноманітніших факторів, які належать до всіх етапів технології їх виготовлення. Врахування впливу основних факторів на нього дозволить керувати процесом формування основних властивостей або ефективністю їх виробництва. Однак існуючий рівень знань про структурні характеристики ДСП не дає змоги прогнозувати і цілеспрямовано регулювати їх фізико-механічні властивості.

Недостатньо вивчено питання взаємозв'язку значної кількості факторів, які впливають на міцність ДСП, а, отже, і довговічність наступних виробів. Відомі математичні вирази для визначення міцності ДСП є дуже наближеними і для практичних розрахунків не придатні.

Важливо ще на стадії проектування технологічного процесу виготовлення ДСП визначити їх міцність і оптимальний склад компонентів, оптимальні режимні параметри виробництва, які дають змогу одержувати плити не тільки із заданими структурою та властивостями, але і здійснювати технологічний процес з найменшими матеріальними витратами. Для цього потрібно мати оптимізаційну математичну модель, яка дозволяє встановлювати оптимальні значення технологічних режимів.

Отже, актуальною є проблема розробки як загальних теоретичних основ виготовлення ДСП із заданими структурою та властивостями, так

ІНБ ім. В. Стефанива  
АН України

і створення методології для розрахунку їх структурних параметрів і міцності, оптимізації структури і параметрів основних технологічних операцій їх виготовлення.

**Мета роботи та завдання дослідження.** Розробити науково-технічні основи виготовлення ДСП із заданою структурою та властивостями і створити методологію для розрахунку їх структурних параметрів і міцності; оптимізувати структуру і режими основних технологічних операцій виготовлення ДСП.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі завдання:

розкрити і математично описати закономірності структуроутворення ДСП;

розробити математичні моделі основних технологічних операцій процесу виготовлення ДСП, які дають змогу прогнозувати показники його ефективності і провести їх оптимізацію;

дослідити вплив основних технологічних факторів на властивості ДСП і встановити взаємозв'язок між умовами отримання деревинних частинок і плит, з одного боку, і кінцевими властивостями плит, з іншого;

встановити фактори, які керують структурою та властивостями ДСП і дозволяють прогнозувати якість і ефективність процесу їх виготовлення;

розробити нові способи виготовлення ДСП і пропозиції щодо вдосконалення технологічного обладнання;

запропонувати методики інженерних розрахунків основних структурних параметрів і міцності ДСП;

видати рекомендації щодо прогнозування і спрямованого регулювання структури і міцності ДСП, вдосконалення технології, режимів та обладнання.

**Наукова новизна.** 1. Вперше запропоновано розглядати ДСП як систему, яка складається з таких основних елементів (за умови однозначності визначення цього поняття як критерія цілісності об'єкта): деревинних частинок, клею, контактів між частинками, пор, і на цій

основі розроблено новий підхід до вивчення технологічного процесу виготовлення ДСП із заданою структурою та властивостями, що ґрунтується на встановленні внутрішніх зв'язків між елементами, виявленні закономірностей отримання елементів і формуванні структури.

2. Сформульовані та обґрунтовані умови раціонального подрібнення деревинної сировини (мінімально можлива деформація об'єму деревини, зменшення руйнівних напружень подрібнюваних частинок, подрібнення до визначених розмірів, оптимізація конструктивно-механічних параметрів обладнання), основні вимоги до створення нового подрібнювального обладнання (однорідність сировини перед подрібненням, рівномірність її подачі, одержання якісних частинок, своєчасне їх виведення з машини, можливість швидкого її переналагодження на подрібнення різного матеріалу, забезпечення необхідної продуктивності) і на цій підставі запропоновано нові його конструкції, які захищені 8 авторськими свідоцтвами на винаходи.

3. На основі дослідження закономірностей розподілу енергії в процесі подрібнення встановлена функціональна залежність роботи, яка витрачається на розмелювання деревини в зубчато-ситовому млині (ЗСМ), від властивостей початкової сировини, конструктивно-механічних параметрів млина та режимів розмелювання. Одержана залежність дає змогу визначити вплив факторів на неефективні витрати енергії і є теоретичною основою для розробки методики інженерного розрахунку оптимальних конструктивно-технологічних параметрів ЗСМ.

4. Запропоновано комплекс математичних моделей, який розкриває закономірності протікання процесів подрібнення деревини і пресування плит, що дає змогу встановити взаємозв'язок між умовами отримання деревинних частинок і плит, з одного боку, і кінцевими властивостями плит, з іншого. Згадані моделі створили реальні можливості для прогнозування та керування якістю ДСП.

5. Науково обґрунтована, на підставі порівняння поверхневих натягів деревини і клею, необхідність при розгляді процесу

структурування ДСП врахування термодинамічних параметрів клею ( $\theta$ ,  $\gamma$ ). Встановлено теоретичну залежність міцності ДСП від їх основних структурних факторів ( $\sigma_{д.ч}$ ,  $\rho_{пл}$ ,  $\rho_{д}$ ,  $\Pi_a$ ,  $S_c$ ,  $q_{кл}$ ,  $h_{кл}$ ,  $\epsilon_k$ ,  $\alpha_{ш}$ ) і термодинамічних параметрів клею, що дозволяє прогнозувати і спрямовано регулювати міцність плит шляхом вибору і зміни параметрів процесу структурування.

6. Виявлено і систематизовано основні структурні параметри ДСП ( $\sigma_{д.ч}$ ,  $\rho_{пл}$ ,  $\rho_{д}$ ,  $\Pi_a$ ,  $\Pi_b$ ,  $\Pi_{з.кл}$ ,  $P$ ,  $S_c$ ,  $q_{кл}$ ,  $h_{кл}$ ,  $\epsilon_k$ ,  $\alpha_{ш}$ ) які складають основу інформаційної бази досліджень і розробок у галузі структурування плит і формування їх міцності.

7. Запропоновано оптимізувати макроструктуру поперечного перерізу ДСП за критерієм їх міцності при згині за умови мінімуму питомих витрат на одиницю матеріалу зовнішніх і середніх шарів, що дозволяє визначити оптимальні співвідношення шарів ДСП.

8. Розроблено оптимізаційну математичну модель процесу виготовлення ДСП, яка дає змогу визначити оптимальні режимні параметри процесу, виходячи з умови забезпечення заданої міцності плит при мінімальній витраті сировини і матеріалів. Для реалізації моделі побудований алгоритм і розроблена ЕОМ-програма.

Всі вказані положення вперше отримані дисертантом.

**Обґрунтованість і достовірність результатів дослідження.** При проведенні досліджень використовувалися методи математичної статистики, нелінійного програмування, математичного планування експериментів і обробки отриманих результатів за допомогою ЕОМ. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджена тим, що отримані теоретичні залежності не суперечать з основними твердженнями науки і результатами робіт інших дослідників в цій галузі, показники статистичної обробки експериментальних даних відповідають загальноприйнятим у практиці наукових досліджень, розробки впроваджені у виробництво.

**Практична значимість роботи і реалізація результатів.** Запропоновано нові способи і обладнання для виготовлення ДСП, які дають змогу: підвищити продуктивність і зменшити енерговитрати на

отримання деревинних частинок, покращити їх якість (А.с.№.1722831; 1722832; 1722833; 1728010; 1728011; 1754454; 1781040; 1782748); зменшити витрати клею і покращити якість змішування шляхом рівномірного розподілу клею по поверхні деревинних частинок різних фракцій (А.с.№.1787777); отримати плити з рівномірним профілем щільності за їх товщиною, інтенсифікувати процес пресування плит (Патент Російської Федерації №.2046036, Заявка №.5016840; 5016845; 5017717).

Створено методики інженерних розрахунків міцності та основних структурних параметрів ДСП: питомої зовнішньої поверхні деревинних частинок з врахуванням їх поверхневої пористості та шорсткості поверхні; щільності плит, спресованих деревинних частинок і деревини (необхідної для отримання плит із заданою щільністю); ступеня ущільнення та спресування деревинних частинок у плитах; критичної (мінімальної) щільності плит; вільної та активної пористості; пористості спресованих деревинних частинок; об'єму пор, заповнених клеєм; ступеня контактування деревинних частинок у плитах; витрати клею і товщини клейового шару. Теоретичний підхід до розрахунку структурних параметрів і міцності ДСП може знайти застосування при діагностиці їх властивостей

Розроблено номограми для визначення  $G_{ч}$ ,  $\rho_{пл}$ ,  $\rho_{д}$ ,  $\Pi_{а}$ ,  $\Pi_{в}$ ,  $\Pi_{з,кл}$ ,  $S_{с}$ ,  $q_{кл}$ ,  $h_{кл}$ ,  $\epsilon_{пр}$ ,  $\alpha_{ш}$ , які дозволяють оперативно керувати технологічним процесом і спрямовано регулювати структуру і міцність ДСП.

Отримані результати можуть бути використані заводами по виготовленню ДСП, проектно-конструкторськими і науково-дослідними організаціями при вдосконаленні технологічного процесу виготовлення ДСП і для проектування сучасного високоефективного технологічного обладнання. Зокрема, рекомендації щодо створення нового подрібнювального обладнання враховані СКБД-5 Новозибківського верстатобудівного виробничого об'єднання (Російська Федерація) при вдосконаленні конструкції зубчато-ситового млина ДМ-8 (ДМ-8А).

Результати досліджень впроваджені на Ківерцівському ДОКу з очікуваним річним економічним ефектом 25.62 тис.крб (станом на

1988р.), Тересвянському ДОКу - 1.8 млрдкрб (станом на 1995р.) і Брошнівському ЛК "Осмолода" - 4.8 млрдкрб (станом на 1994 рік).

Розробки дисертації включені у навчальний процес вищої школи, де вони представлені двома навчальними посібниками "Технологія і обладнання для виробництва деревинностружкових плит" (26.5 друк.арк.) і "Технологічні розрахунки у виробництві деревинностружкових плит" (9.3 друк.арк.).

#### **Основні положення, що виносяться на захист:**

1. Науково-технічні основи виготовлення ДСП із заданою структурою та властивостями, що базуються на результатах теоретичних досліджень процесу структуроутворення плит, встановленні внутрішніх зв'язків між їх елементами, виявленні закономірностей отримання елементів і формуванні структури.

2. Розгляд ДСП як системи, яка складається з деревинних частинок, клею, контактів між частинками, пор, і на цій основі створення єдиного методичного підходу до складання математичних моделей технологічного процесу виготовлення плит.

3. Математичні моделі процесу виготовлення деревинних частинок і пресування з отриманих частинок плит.

4. Методики інженерних розрахунків основних структурних параметрів, які визначають структуру і міцність ДСП - щільності плит, питомої зовнішньої поверхні деревинних частинок, ступеня контактування їх у плитах, товщини клейового шару, витрати клею, пористості плит, співвідношення шарів плит.

5. Способи та обладнання для виготовлення деревинних частинок, їх підготовки і змішування з клеєм, пресування ДСП.

6. Оптимізаційна математична модель процесу виготовлення ДСП і створена на її основі методика визначення оптимальних параметрів процесу виготовлення плит.

**Апробація роботи.** Основні положення дисертації та її окремі розділи доповідалися і обговорювалися на: 28,29 і 30 міжнародних симпозиумах "International Particleboard/Composite Material Symposium" (Washington State University, Pullman, USA, 1994, 1995, 1996); XII

міжнародному симпозиумі "Adhesives in Woodworking Industry" (Zvolen, Slovakia, 1995); The Specialist Seminar on the Chosen Processes at the Chemical Wood Processing (Zvolen, Slovakia, 1996); Всесоюзній науково-технічній конференції молодих вчених і спеціалістів (м.Архангельськ, 1989); Республіканських науково-технічних конференціях: "Комплексне використання деревної сировини і впровадження безвідходної технології в лісовій і деревообробній промисловості" (Івано-Франківськ, 1985); "Внесок молодих спеціалістів галузі в прискорення науково-технічного прогресу в меблевому виробництві" (Київ, 1985); "Основні напрямки прискорення науково-технічного прогресу в лісовій і деревообробній промисловості в XII п'ятирічці" (Київ, 1986); "Науково-технічний прогрес у лісовій і деревообробній промисловості" (Київ, 1989); "Вдосконалення ресурсозберігаючих технологій і охорони навколишнього середовища лісопромислових підприємств" (Івано-Франківськ, 1990); IV науково-технічній конференції молодих вчених і спеціалістів УкрНДІМОД "Підвищення ефективності деревообробних виробництв" (Київ, 1987); науково-практичній конференції з проблем використання відходів лісових комплексів (м.Ужгород, 1989).

**Особиста участь автора.** Постановка проблеми, вибір напрямків і організація наукових досліджень, проведення експериментів і аналіз їх результатів, розробка математичних моделей виконані самим автором. У спільних публікаціях особистий вклад автора є основним.

**Публікації.** Матеріали дисертації опубліковані в 1 монографії, 2 навчальних посібниках, 2 брошурах, 40 наукових статтях і 13 авторських свідоцтвах на винаходи.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається з вступу, 6 розділів, висновків та рекомендацій, списку літератури і додатків.

Загальний обсяг дисертації - 434 сторінки, основний зміст роботи викладено на 293 сторінках машинописного тексту і ілюструється 73 рисунками і 19 таблицями. Список літератури містить 320 найменувань.

## ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовується актуальність теми дисертації, визначені мета і завдання досліджень, дається наукова новизна, основні положення, що виносяться на захист, показана практична цінність, апробація і реалізація результатів роботи.

**Перший розділ** дисертації присвячений розробці методологічних основ формування структури і міцності ДСП на підставі системного аналізу їх виробництва як об'єкта оптимізації.

Значний внесок у розвиток науки про ДСП зробили такі вчені як Отлев І., Баженов В., Пучков Б., Облівін А., Соснін М., Ельберт А., Поздняков А., Мелоні Т., Онисько В., Седлячак М., Чіжек Я., Йосіфов Н., Кольманн Р., Клаудітц В., Платт Е., Роффаель Е., К'юне Г. та ін. Однак аналіз науково-технічної інформації з досліджуваного питання свідчить, що проблема структуроутворення ДСП із заданими властивостями не розв'язана ні в теоретичному, ні в прикладному плані; відсутні дослідження всього виробництва ДСП як єдиної системи. Більшість досліджень обмежується описом конкретних практичних розв'язків, не містить якісного опису явищ, теоретичних узагальнень, багато висновків носять емпіричний характер. Для багатьох процесів відомий лише кількісний взаємовплив факторів, а рекомендації щодо значення показників режимних параметрів технології мають швидше рецептурний, а не науково обґрунтований характер.

Основною складністю при розв'язанні даної проблеми є те, що на структуру і властивості ДСП впливає понад 50 факторів (що впливає із розробленої нами систематизації факторів формування структури і властивостей ДСП), не враховуючи функціональних зв'язків їх між собою. Одержати математичний опис властивостей ДСП від усіх досліджуваних факторів надзвичайно важко. Тому всі фактори, які впливають на структуру і властивості ДСП, повинні бути розділені на декілька груп. Кожна з цих груп може бути описана математичною моделлю, вихідною величиною якої є найважливіший фактор, який названо інтегральним (узагальненим).

Для виявлення інтегральних факторів формування структури і властивостей плит вперше ДСП розглядається як система, яка складається з таких елементів (за умови однозначності визначення цього поняття як критерія цілісності об'єкта): деревинних частинок (ДЧ); клею (Кл); контактів між частинками (зв'язків) (К); пор (П). Отже, логічна формула властивостей ДСП буде мати такий вигляд:

$$\text{ДСП} = \text{ДЧ} \wedge \text{Кл} \wedge \text{К} \wedge \text{П}, \quad (1)$$

тут  $\wedge$ - позначення логічної операції кон'юнкції.

Відсутність одного з вказаних елементів порушує цілісність плити. Отже, елементи утворюють ДСП, а не ДСП складається з елементів. Тому послідовність дій повинна полягати не у свідомому складанні системи (ДСП) з окремих елементів, а в доборі властивостей системи, що поступово веде до параметрів початкових елементів, механо-конструктивних характеристик обладнання і технологічних режимів, що в сумі формує структуру ДСП і визначає їх властивості, зокрема міцність. Зміна структури ДСП при збереженні складу її елементів призводить до появи нових властивостей плити.

Деревинні частинки і клей - початкові компоненти для утворення ДСП. Контакти і пори формуються і утворюються в процесі формування стружкового килиму і пресування плит. Отже, структуру і міцність плит визначають параметри як початкових елементів, так і умов формування структури. Тобто забезпечення доброї міцності елементів ще не є достатньою умовою для отримання якісної продукції. Тому поруч з впливом всього комплексу властивостей початкових елементів якість (міцність) ДСП завжди визначається особливостями її структури.

Як буде показано нижче, макроструктура ДСП визначається такими групами факторів: властивостями компонентів, орієнтацією деревинних частинок у площині плити, структурою поперечного перерізу плити, пористістю плити і фіксацією компонентів у плиті.

Виходячи з вище викладеного, і з врахуванням формули (1), міцність ДСП визначиться залежністю від таких інтегральних факторів: міцності деревинних частинок у плиті  $\sigma_{\text{д.ч.}}$ , питомої зовнішньої поверхні деревинних частинок  $S_c$ , щільності плити  $\rho_{\text{пл}}$ , товщини клейового шару

між деревинними частинками  $h_{кл}$ , відносної площі контактування деревинних частинок за шаром клею  $\epsilon_k$ , пористості (активної) плит  $\Pi_a$ , тобто

$$\sigma_{пл} = f(\sigma_{д.ч}, \rho_{пл}, S_c, h_{кл}, \epsilon_k, \Pi_a). \quad (2)$$

Отже, спочатку необхідно одержати залежності кожного вибраного інтегрального фактору від факторів, які входять в його групу. Після цього можна приступити до встановлення залежностей властивостей ДСП від інтегральних факторів.

Другий розділ присвячений дослідженню процесу виготовлення деревинних частинок та його оптимізації.

Процес структуроутворення ДСП починається з моменту виготовлення деревинних частинок. Аналіз існуючих та перспективних способів подрібнення деревини у виробництві ДСП дає підстави вважати, що для отримання деревинних частинок найефективніші відцентрово-стружкові верстати і ЗСМ. Однак їх якість, особливо у відцентрово-стружковому верстаті, ще досить низька, що свідчить про недостатній обсяг знань, які би розкривали фізичну суть процесу стружкоутворення.

Отримання деревинних частинок необхідної товщини та якості можливо за умов: 1) якщо відцентрова сила  $F_i$  буде більшою від усіх сил опору  $F_{оп}$ , що перешкоджають її радіальному переміщенню

$$F_i > F_{оп}, \quad (3)$$

і 2) якщо час  $t_r$  пересування цієї частинки під дією відцентрової сили на відстань  $h_n$ , яка дорівнює виступу ножів, буде менший від часу  $t_x$  переміщення частинки по дузі кола до зустрічі з наступним ножом

$$t_r < t_x. \quad (4)$$

Ці дві умови визначаються із рівнянь рівноваги сил, що діють на частинки тріски всередині ножового барабана (рис.1).

Взаємодія всіх сил у процесі подачі тріски до ножів описується рівнянням руху частинки всередині верстата.

Згідно з основним законом динаміки для відносного руху

$$\ddot{r} + 2f\omega_k^2 \dot{r} - \omega_k^2 r = 0. \quad (5)$$

Рис.1. Схема дії сил на деревинну частинку:

1 - ножовий барабан; 2 - ніж; 3 - лопать крильчатки; 4 - деревинна частинка

Після розв'язання диференціального рівняння одержимо рівняння руху частинки по лопаті крильчатки

$$r = \frac{r_0}{2} \cdot \left[ \left(1 - \frac{f}{d}\right) \cdot e^{-\omega_k(f+d)tr} + \left(1 + \frac{f}{d}\right) \cdot e^{-\omega_k(f-d)tr} \right] \quad (6)$$

і швидкість руху частинки по лопаті крильчатки

$$v_r = \dot{r} = \frac{r_0 \cdot \omega_k \cdot e^{2\omega_k \cdot d \cdot tr} - 1}{2 \cdot d \cdot e^{\omega_k(f+d)tr}} \quad (7)$$

Час для радіальної подачі тріски в зону різання після її сходження з ножа визначається з рівняння (6), за початкових умов

$$r|_{t_r=0} = r_0 = R - h_n \quad (8)$$

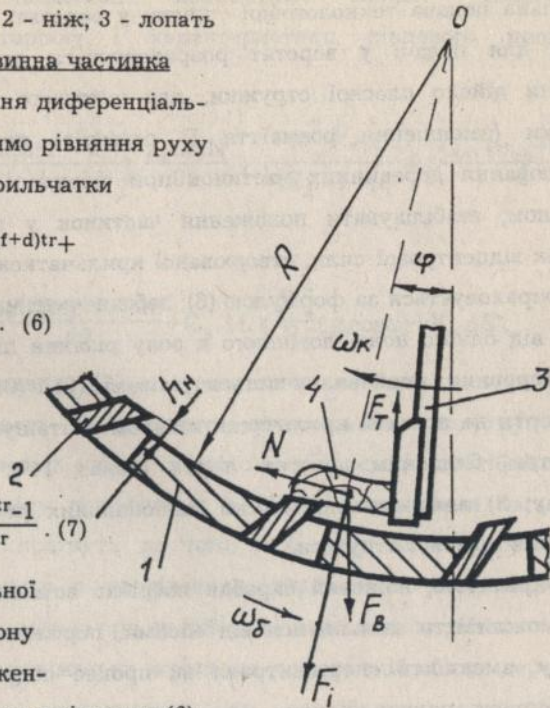
Час пересування тріски по дузі кола після сходження її з ножа до подачі на наступний ніж визначається рівнянням

$$t_x = \frac{2\pi}{z_n \cdot (\omega_k + \omega_6)} > t_r \quad (9)$$

Маса деревинних частинок, які одночасно знаходяться в ножовому барабані, дорівнює

$$G_q = Q_b \cdot t_{сер} \left(1 + \frac{W_{тр}}{100}\right) \quad (10)$$

Отже, з урахуванням проведених досліджень, для успішного здійснення операції одержання деревинних частинок на відцентрово-



стружковому верстаті мають бути враховані такі важливі моменти: 1) правильна подача технологічної тріски у верстат; необхідна кількість тріски для подачі у верстат розраховується за формулою (10); 2) зрізання дійсно плоскої стружки; для суттєвого покращання якості стружки (зменшення розмаїття її розмірів) необхідно: послабити розколювання деревинних частинок при співударі з крильчаткою та барабаном; стабілізувати положення частинок у процесі різання за рахунок відцентрової сили, створюваної крильчаткою, кутова швидкість якої розраховується за формулою (6); забезпечити час для переміщення тріски від одного ножа до іншого в зону різання після зрізання з неї шару деревини, який визначається умовами (8) і (9); виключити вплив сили тертя до лопатей крильчатки шляхом розташування їх поверхонь під кутом, близьким до кута тертя (понад  $14^\circ$ ), щодо радіального напрямку; 3) використання тріски раціональних розмірів; 4) належне виведення зрізаної стружки.

Окрім того, ножовий барабан потрібно встановити нерухомо. Це дасть можливість звільнитися від обойми, порожнистого вала та його приводу; зменшить енерговитрати на процес подрібнення. На основі теоретичного аналізу процесу отримання деревинних частинок у ЗСМ встановлено, що на процес подрібнення значно впливає відстань між зубами зубчасто-ситового барабана. Остання має бути підібрана так, щоб забезпечити найефективнішу механічну дію кожного із зубів на подрібнюваний матеріал. З уваги на це, потрібна відстань між зубами  $L$  залежно від швидкостей обертання крильчатки  $v_{кр}$  і барабана  $v_b$ , висоти зубів над ситовою поверхнею  $h_z$ , діаметра обводу розташування робочих кромek крильчатки  $D_{кр}$  розраховується за отриманою залежністю

$$L = \sqrt{h_z \cdot D_{кр}} \left( 1 + \frac{v_b}{v_{кр}} \right). \quad (11)$$

Для ефективного подрібнення деревини у виробництві ДСП необхідно задовольняти якісні та енергетичні умови. Проаналізовано розподіл енергії на подрібнення деревини в ЗСМ й визначено напрями зменшення витрат енергії, не пов'язаних із подрібненням. На підставі фундаментального закону збереження енергії виведено загальне

рівняння процесу подрібнення деревини в ЗСМ, яке охоплює конструктивно технологічні параметри млина, властивості подрібнюваного матеріалу і характеристики кінцевого продукту подрібнення

$$A_{\text{под}} = \left[ \frac{\sigma^2 \cdot V_{\text{п}}}{8E_{\text{д}}} + \frac{G_{\text{ч}} \cdot v_{\text{кп}}^2 (1 - k^2)}{2} \right] \cdot \frac{z_{\text{а}} \cdot t_{\text{п}} \cdot N}{60} + \left[ \frac{\sigma^2 \cdot V_{\text{м}}}{4E_{\text{д}} (1 + \mu)} + \frac{G_{\text{ч}} (v_{\text{кп}} + v_{\text{б}})^2}{2} \right] \times \\ \times \frac{z_{\text{а}} \cdot t_{\text{п}} (n_{\text{к}} + n_{\text{б}}) \cdot m}{60} + G_{\text{ч}} \cdot l \cdot f \cdot \left( \frac{v^2}{R_6} \pm g \cdot \cos \alpha \right) + K_{\text{с}} \cdot \Delta S. \quad (12)$$

Отримане рівняння (12) є теоретичною основою для розробки методики інженерного розрахунку оптимальних конструктивно-технологічних параметрів млина. Із нього випливає, що для збільшення значення к.к.д. процесу подрібнення в ЗСМ і зменшення загальних енерговитрат треба прагнути до того, щоб витрати енергії, які не пов'язані безпосередньо з розділенням деревинних частинок, були мінімальними. З цієї метою при подрібненні деревини потрібно:

- 1) прагнути до мінімально можливих деформацій об'єму деревини, щоб енергія, яка витрачається на подрібнення, якнайбільше витрачалася на утворення нової поверхні;
- 2) оптимізувати конструктивно-механічні параметри млина;
- 3) зменшувати руйнівні напруження  $\sigma_{\text{д}}$  подрібнюваних частинок, що можна досягнути спрямованою зміною їх структурно-механічних властивостей шляхом попередньої гідротермічної обробки деревинної сировини і (або) обробкою деревини стисненням між вальцями;
- 4) подрібнювати деревину до визначених розмірів, оскільки переподрібнення частинок призводить до збільшення заново утвореної поверхні  $\Delta S$ , а отже, до додаткових витрат енергії, гальмування процесу подрібнення.

Проведені експериментальні дослідження процесу подрібнення деревини розмелюванням у ЗСМ, створеному на базі відцентрово-стружкового верстата ДС-7. Використовувалися експериментальні сита

з отворами діаметром 4мм і розмірами 4x10; 6x20; 8x30 і 10x40мм. Результати експериментів оцінювалися з похибкою, яка не перебільшувала  $\pm 5\%$ .

Отримані регресійні залежності витрат електроенергії на подрібнення, продуктивності ЗСМ, фракційного складу і розмірів деревинних частинок та властивостей плит від розмірів ситових отворів:

$$E = 291.0 - 21.8.l_o + 42.5.b_o + 0.3.l_o^2 - 0.91.l_o.b_o + b_o^2; \quad (13)$$

$$Q = 716.0 + 41.7.l_o - 250.7.b_o - 0.8.l_o^2 + 6.7.l_o.b_o - 1.14.b_o^2; \quad (14)$$

$$q_3 = 7.943 + 0.0165568.l_o.b_o - 0.0035597.b_o^2; \quad (15)$$

$$q_2 = 24.469 + 0.00620231.l_o.b_o - 0.0013335.b_o^2; \quad (16)$$

$$q_1 = 34.401 - 0.0018021.l_o.b_o + 0.0038743.b_o^2; \quad (17)$$

$$q_0 = 33.311 - 0.00646931.l_o.b_o + 0.0013909.b_o^2; \quad (18)$$

$$l_c = 4.201 + 0.00458461.l_o.b_o - 0.0009857.b_o^2; \quad (19)$$

$$b_c = 0.72 + 0.00081651.l_o.b_o - 0.0001755.b_o^2; \quad (20)$$

$$h_c = 0.338 + 0.00024711.l_o.b_o - 0.0000531.b_o^2; \quad (21)$$

$$\sigma_{gr} = 20.233 - 0.00596111.l_o.b_o + 0.0012816.b_o^2; \quad (22)$$

$$\sigma_p = 0.593 - 0.00013031.l_o.b_o + 0.000028.b_o^2; \quad (23)$$

$$R_z = 21.862 + 0.16143271.l_o.b_o - 0.034708.b_o^2. \quad (24)$$

Встановлено, що з метою поліпшення якості поверхні тришарових ДСП за умови збереження їх міцності необхідно використовувати сита з отворами розміром 8x30 мм.

За результатами багатofакторного експерименту (проведеного за планом другого порядку  $B_2$ ) розроблені регресійні моделі фракційного

виходу ( $q$ ) деревинних частинок залежно від висоти виступу зубів ( $h_3$ ) над ситовою поверхнею і кута їх загострення ( $\alpha$ ):

$$q_3 = 255.35 - 17350h_3 - 10.16\alpha + 950000.h_3^2 + 0.106\alpha + 310h_3\alpha; \quad (25)$$

$$q_2 = 10.8734\alpha - 9225h_3 - 0.124\alpha^2 + 205h_3\alpha - 207.458; \quad (26)$$

$$q_1 = 3125h_3 + 8.8688\alpha - 0.0953\alpha^2 - 85h_3\alpha - 168.782; \quad (27)$$

$$q_0 = 257.037 + 19933h_3 - 10.7534\alpha + 0.126\alpha^2 - 430h_3\alpha. \quad (28)$$

Рівні змінювання факторів:  $1 \leq h_3 \leq 3$  мм,  $40 \leq \alpha \leq 50^\circ$  прийняті за результатами пошукових експериментів.

Встановлено, що кут загострення зубів сильніше впливає на формування фракційного складу деревинних частинок, ніж висота їх виступу над поверхнею сит.

Дослідження впливу виду сировини (стружка від верстатів ДС-6 (ДС-8), тріска) показали, що при подрібненні вологої стружки ( $W=80\%$ ) утворюються якісніші (волокноподібні) деревинні частинки, ніж при подрібненні сухої ( $W=5\%$ ) або тріски. Застосування замерзлої тріски призводить до покоротшання деревинних частинок, появи більшої кількості грубих частинок.

Для вивчення явищ, які відбуваються при подрібненні сировини різного виду, вологості і температури в ЗСМ, були проведені мікроскопічні дослідження анатомічної будови отриманих частинок. Встановлено, що при подрібненні деревини вологістю 80% і температурі  $20^\circ\text{C}$  утворюються деревинні частинки з мінімальними мікроруйнуваннями.

Поруч з отриманням стружки з потрібними розмірами необхідно визначити найекономічніший режим процесу розмелювання. Тому треба підібрати такі режимні параметри, за яких витрати на розмелювання для одержання 1 т стружки будуть мінімальні. До того ж повинна забезпечуватися максимальна продуктивність цеху (яка визначається продуктивністю преса для гарячого пресування)  $P_n$ , мінімальна витрата деревини  $V_d$ , електроенергії  $E$ , максимальний вихід

стружки  $Q_B$ , а також мак-симальна міцність плит  $\sigma_{зг}$  та мінімальна шорсткість їх поверхні  $R_z$

$$\Pi_{п} \rightarrow \max; B_{д} \rightarrow \min; E \rightarrow \min; Q_B \rightarrow \max; \sigma_{зг} \rightarrow \max; R_z \rightarrow \min. \quad (29)$$

Співставляючи ці варіанти, вибирають мінімальне значення витрат на розмелювання:

$$Z_{п} = \sum_{i=1}^n \psi_i (\rho_{баз} h_{тр}, l_0, b_0, n_{ш}) \rightarrow \min; \quad (30)$$

за таких обмежень на технологічні параметри

$$\begin{cases} 0.1 \leq h_c \leq 0.5 \\ 4 \leq l_0 \leq 40 \\ 4 \leq b_0 \leq 10 \\ 5 \leq n_{ш} \leq 35 \\ 340 \leq \rho_{баз} \leq 540 \\ 5 \leq h_{тр} \leq 25 \end{cases} \quad (31)$$

Для розв'язання завдання, яке представлено функцією мети (30) і системою обмежень (31), виразимо величину витрат на виготовлення 1 т стружки:

$$Z_{п} = \frac{A \cdot \Pi_{п} \cdot (h_{тр} - h_c)}{\rho_{баз} \cdot h_c \cdot n_{ш}} + (291.0 - 21.8 \cdot l_0 + 42.5 \cdot b_0 + 0.3 \cdot l_0^2 - 0.91 \cdot l_0 \cdot b_0 + b_0^2) \cdot \Pi_{е}; \quad (32)$$

$$A = \frac{4 \cdot 10^7 \cdot \Pi_{п} \cdot \rho_{п} \cdot K_{вт}}{\pi D^2 \cdot S \cdot \rho_{п} \cdot z_{зг} \cdot (n_k + n_6) \cdot (100 + W_{пл}) \cdot (100 + P)} \quad (33)$$

Розроблена програма і побудований алгоритм, реалізація яких на ЕОМ дає змогу отримати оптимальні (в розумінні мінімуму витрат на розмелювання) значення досліджуваних параметрів:  $l_0=30$ мм;  $b_0=8$ мм;  $n_{ш}=10$ хв<sup>-1</sup>;  $h_{тр}=25$ мм;  $\rho_{баз}=540$  кг/м<sup>3</sup>.

На основі проведених теоретичних і експериментальних досліджень сформульовані умови процесу раціонального подрібнення деревинної сировини, які враховувалися при розробці нових конструкцій подрібнювального обладнання (А.с.№.1722831; 1722832; 1722833; 1728010; 1728011; 1754454; 1781040; 1782748).

Третій розділ присвячений теоретичним аспектам структуроутворення ДСП як фактора формування їх властивостей.

Структура ДСП диференційована на трьох рівнях: суб-, мікро- і макроскопічному. На підставі аналізу апріорної інформації встановлено, що вирішальне значення для властивостей плит має їх макроструктура. Тому під структуроутворенням ДСП розуміємо процес формування їх компонентів і структурного зв'язку між ними під дією внутрішніх і зовнішніх факторів на макроскопічному рівні.

Розроблена класифікація можливих типів структури ДСП (суцільної, суцільно-крапкової (проміжної) і крапкової) і дається їх аналіз.

Встановлено, що поруч з технологічними факторами на процес структуроутворення ДСП великий вплив мають термодинамічні параметри клею і деревинних частинок. Зокрема, встановлена необхідність врахування таких факторів як: крайовий кут змочування, поверхневий натяг клею і деревинних частинок. Це свідчить про важливість врахування і дослідження поверхневої активності деревинних частинок, поверхневих явищ на межі розділу фаз.

Однак, враховуючи складність дослідження таких процесів, і, виходячи з поставленої мети, процес формування структури та властивостей ДСП розглядається в даній роботі з точки зору технології, а не з позицій термодинаміки поверхневих явищ і фізико-хімічної механіки.

Систематизовані параметри і властивості деревинних частинок і фактори їх формування. Інтегральними параметрами деревинних частинок можуть бути їх питома зовнішня поверхня та поверхневий натяг. Перший параметр впливає на формування контакту між деревинними частинками (отже, і на міцність склеювання), а також визначає ефективність розподілу клею на їх поверхнях; другий - дає змогу судити про поверхневу активність деревинних частинок з термодинамічної точки зору.

Найкращим способом підвищення ефективності використання клею в промислових змішувачах є оптимізація процесу покриття

деревинних частинок клеєм і розподіл його в межах кожної фракції. Це, очевидно, могло би бути здійснене шляхом введення клею при відносно рівномірному розподілі за різними розмірами частинок, виходячи з площі їх поверхні.

Відносна площа контакту рідкого клею і твердої стружки зумовлена її мікрорельєфом, який формується в процесі її виготовлення. Мікрорельєф поверхні деревини визначається її поверхневою пористістю і шорсткістю поверхні.

Внаслідок апроксимації площі поверхні деревинних частинок сукупністю циліндрів (напівколом) одержано формулу для її визначення, яка має такий вигляд

$$S_c = \frac{4\pi R_a}{\rho_d S_z} \cdot \left( \frac{1}{l_{\text{сер}}} + \frac{1}{b_{\text{сер}}} + \frac{1}{h_{\text{сер}}} \right) \cdot (1 + \Pi_n). \quad (34)$$

Зміна величин співвідношень розмірів не призводить до суттєвої зміни величини питомої поверхні деревинних частинок. Значно сильніше впливають  $R_a$  та  $\Pi_n$  на  $S_c$ . Залежно від величини шорсткості поверхні та поверхневої пористості частинок, їх питома поверхня збільшується на 1.7...5.2 рази. Зокрема, при зростанні шорсткості поверхні деревинних частинок на 10 мкм або поверхневої пористості на 10% питома поверхня частинок зростає вдвічі

За формулою (34) побудовані номограми для визначення  $S_c$ . Вона дає змогу визначити питому поверхню деревинних частинок як для середніх, так і для зовнішніх шарів ДСП. Це дозволяє оптимізувати витрату клею за шарами плити залежно від розмірів деревинних частинок.

Механізм утворення адгезійних зв'язків у ДСП нерозривно пов'язаний з природою зв'язків у зоні контакту та їх кількістю. Згідно з сучасними уявленнями природа зв'язків у зоні формування адгезійного контакту (на межі розділу фаз) визначається хімічною будовою клею і стружки, яка зумовлює відповідний характер взаємодії: хімічний, міжмолекулярний тощо. Однак незалежно від природи зв'язків кількість їх задається фактичною площею контакту поверхонь, які дотикаються.

Тому вплив структури ДСП на їх міцність виявляється через кількість контактів між деревинними частинками, які припадають на одиницю площі поверхні руйнування. У зв'язку з цим досягнутий при пресуванні ступінь контактування деревинних частинок розглядається як одна з основних характеристик структури ДСП і розраховується за формулою

$$\epsilon_k = \frac{\rho_d \cdot P \cdot K_p \cdot S_z^2 \cdot \gamma \cdot \cos \theta \cdot \tau_k \cdot K_B \cdot (100 - \Pi_a)}{4800 \pi \cdot R_a^2 \cdot \rho_{кл} \cdot h_{кл} \cdot \eta \cdot (1 + \Pi_{п}) \cdot \left( \frac{1}{l_c} + \frac{1}{b_c} + \frac{1}{h_c} \right)} \quad (35)$$

З отриманої залежності випливає, що ступінь контактування збільшується: з покращанням розподілу клею на частинках і щільнішим їх вкладанням у стружковому пакеті; із зменшенням шорсткості поверхні частинок та їх поверхневої пористості, в'язкості клею, крайового кута змочування; із збільшенням розмірів частинок і поверхневого натягу клею.

На підставі теоретичних узагальнень процесу структуроутворення ДСП систематизовані основні їх структурні параметри.

#### **Четвертий розділ** присвячений оптимізації макроструктури ДСП.

Найчастіше макроструктура регулюється щільністю плит. Межі щільності ДСП треба встановлювати, враховуючи їх призначення і особливості структуроутворення, які зумовлюються видом частинок, технологією їх підготовки, режимом пресування. Збільшення щільності призводить до покращання якості тільки у випадку, якщо при структуроутворенні будуть створені умови, які дають змогу: по-перше, ефективно реалізувати високий ступінь контактування частинок одна з одною; по-друге, зменшити негативні наслідки ущільнення (деформації) частинок, тобто технологія підготовки деревинних частинок і режим пресування мають забезпечити утворення стійких зв'язків між частинками і звести до мінімуму наступне "розпресування".

Обґрунтованих методик вибору породи, щільності вихідної сировини для отримання заданої щільності плит на теперішній день практично не існує. На підставі розкриття основних закономірностей

процесу структуроутворення ДСП встановлено зв'язок між середньою щільністю плит та основними технологічними параметрами (щільністю вихідної деревини, вмістом клею, вологістю стружки, ступенем спресування, який залежить від режимів пресування) процесу їх виготовлення і отримано теоретичні вирази для розрахунку основних структурних параметрів ДСП, які мають такий вигляд:

ступінь ущільнення деревинних частинок

$$\varepsilon_y = 1 - \frac{1}{\rho_{пл} \left( \frac{1}{\rho_{д.ч}} + \frac{W_{обс}}{100 \cdot \rho_{в}} + \frac{P}{100 \cdot \rho_{кл}} \right)}; \quad (36)$$

ступінь спресування деревинних частинок у плитах

$$\varepsilon_{пр} = 1 - \frac{\frac{1}{\rho_{пл}} - \frac{P}{\rho_{кл}(100+P)}}{\left( \frac{1}{\rho_{д}} + \frac{W_{обс}}{100 \cdot \rho_{в}} \right) \cdot Z}; \quad (37)$$

щільність спресованих деревинних частинок у плиті

$$\rho_{д.ч.с} = \left( 1 + \frac{\rho_{пл} \cdot W_{обс}}{100 \cdot \rho_{в}} \right) \cdot \frac{Z}{\left( \frac{1}{\rho_{пл}} - \frac{P}{\rho_{кл}(100+P)} \right)}; \quad (38)$$

щільність плит залежно від ступеня спресування деревини і щільності деревини

$$\rho_{пл} = \frac{1}{Z(1-\varepsilon_{пр}) \left( \frac{1}{\rho_{д}} + \frac{W_{обс}}{100 \cdot \rho_{в}} \right) + \frac{P}{\rho_{кл}(100+P)}}; \quad (39)$$

щільність деревини

$$\rho_{д} = \frac{100 \cdot \rho_{в} (1 - \varepsilon_{пр}) \cdot Z}{100 \cdot \rho_{в} \left( \frac{1}{\rho_{пл}} - \frac{P}{\rho_{кл}(100+P)} \right) - W_{обс} \cdot Z \cdot (1 - \varepsilon_{пр})}; \quad (40)$$

критична щільність плит

$$\rho_{пл}^{кр} = \frac{1}{Z \left( \frac{1}{\rho_{д}} + \frac{W_{обс}}{100 \cdot \rho_{в}} \right) + \frac{P}{\rho_{кл}(100+P)}}; \quad (41)$$

максимальний ступінь спресування деревини в плитах

$$\epsilon_{\text{пл}}^{\text{max}} = 1 - \frac{1}{\rho_{\text{др}} \left( \frac{1}{\rho_{\text{д}}} + \frac{W_{\text{обс}}}{100 \cdot \rho_{\text{в}}} \right)}; \quad (42)$$

максимально можлива щільність плит

$$\rho_{\text{пл}}^{\text{max}} = \frac{1}{\frac{Z}{\rho_{\text{д.р}}} + \frac{P}{\rho_{\text{кл}}(100 + P)}} \quad (43)$$

За формулами (36) і (37) можна розрахувати товщину пакета при стискуванні його до щільності, еквівалентної щільності деревини, товщину готової ДСП або початкову товщину пакета для отримання потрібної товщини плити. Із збільшенням щільності деревини, вмісту клею в плитах ступінь спресування зменшується, оскільки зменшується пористість деревинних частинок. Збільшення щільності плит та вологості деревинних частинок призводить до зростання ступеня спресування. Залежність (39) цінна тим, що дає змогу здійснювати підбір початкової сировини для отримання заданої щільності плит (див. формулу (40)).

Критична щільність - це мінімальна щільність, при якій деревина не буде спресована. Вона визначає межу, вище якої деревина повинна бути спресована. Ця щільність залежить від щільності початкової деревини, густини клею, вмісту клею, вологості стружки, концентрації клею. Практичне її значення полягає в тому, що в разі зменшення щільності плит нижче величини критичної, з погляду на зміни структури плит, виникає можливість значного зменшення якості плит.

Для підвищення механічної міцності пористих тіл необхідно перш за все встановити залежність міцності від пористості (П.Ребіндер). З метою прогнозування властивостей ДСП отримані теоретичні вирази для розрахунку пористості. Пропонується розрізняти пористість: активну, внутрішню та вільну, а також об'єм пор, заповнених клеєм. Вирази для визначення пористості ДСП мають такий вигляд:

активної (сумарний об'єм пор між спресованими деревинними частинками)

$$\Pi_a = 100 - 100 \cdot \rho_{пл} \left( \frac{Z - \frac{W_{пл}}{(100 + W_{пл})}}{\rho_{пл} Z} + \frac{P}{\rho_{кл}(100 + P)} \right); \quad (44)$$

розрахункової пористості деревинних частинок (внутрішньої пористості ДСП)

$$\Pi_{д.ч.с}^P = 100(1 - \rho_{д.ч.с}/\rho_{д.р}); \quad (45)$$

вільної (сума об'ємів пор спресованих деревинних частинок і міжстружкового простору (якщо припустити, що клеюча речовина непориста)):

$$\Pi_b = 100 - 100 \cdot \rho_{пл} \left( \frac{Z - \frac{W_{пл}}{(100 + W_{пл})}}{\rho_{д.р}} + \frac{P}{\rho_{кл}(100 + P)} \right); \quad (46)$$

пористості спресованих деревинних частинок

$$\Pi_{д.ч.с} = \Pi_b - \Pi_a; \quad (47)$$

об'єму пор, заповнених клеєм,

$$\Pi_{з.кл} = (\Pi_{д.ч.с}^P - (\Pi_b - \Pi_a)) \cdot \frac{P}{(P + W_{пл})}. \quad (48)$$

Отримані залежності пов'язують між собою важливі фактори, які мають суттєвий вплив на вдосконалення технологічного процесу виготовлення ДСП із заданою структурою та властивостями.

Кількість клею, що додається до визначеної фракції, має бути достатньою для того, щоб рівномірно покрити всю поверхню даної фракції. Виведено формули для розрахунку фактичної:

витрати клею

$$q_{кл}^{\phi} = \frac{h_c(1 - \epsilon_{пр})}{100} \cdot (\rho_{д.ч.с} P - \rho_{кл} \Pi_{з.кл}); \quad (49)$$

товщини клейового шару

$$h_{кл}^{\phi} = \frac{h_c(1 - \epsilon_{пр})}{100 \cdot \rho_{кл}} \cdot (\rho_{д.ч.с} P - \rho_{кл} \Pi_{з.кл}). \quad (50)$$

Отже, із збільшенням частки клею, що знаходиться в порах, товщина клейового шару зменшується. При цьому важче досягнути його неперервності. Має місце дискретне обсмолення стружки. Тому деревинні частинки у стружковому пакеті в процесі пресування

склеюються одні з одними не за всією поверхнею контакту, а тільки за її частиною. Це значно зменшує міцність ДСП. Якщо  $\Pi_{з.кл}=0$ , то за формулами (49) і (50) можна розрахувати теоретичні значення витрати клею і товщини клейового шару.

Тому для розрахунку витрати клею залежно від фракційного складу деревинних частинок, тобто з врахуванням їх геометричних розмірів, пористості та шорсткості поверхні, скористаємося формулою (34) для визначення питомої поверхні деревинних частинок. Тоді формула для визначення витрати клею запишеться так

$$q_{кл}^п = \frac{\rho_d \cdot P \cdot S_z}{400\pi \cdot R_a \cdot (1 + \Pi_n) \cdot \left(\frac{1}{l_c} + \frac{1}{b_c} + \frac{1}{h_c}\right)}, \quad (51)$$

а товщина клейового шару

$$h_{кл}^п = \frac{\rho_d \cdot P \cdot S_z}{400\pi \cdot R_a \cdot A \cdot \rho_{кл} \cdot (1 + \Pi_n) \cdot \left(\frac{1}{l_c} + \frac{1}{b_c} + \frac{1}{h_c}\right)}. \quad (52)$$

Запропоновано пристрій для змішування деревинних частинок з клеєм, що дозволяє зменшити витрати клею і покращити якість змішування шляхом рівномірного розподілу клею по поверхні частинок різних фракцій (А.с.№.1787777).

З теоретичного аналізу структуроутворення ДСП і з апіорної інформації випливає, що середня щільність плит є необхідною, але недостатньою їх характеристикою, оскільки вона не відображає повністю особливостей їх структури, які впливають на властивості плит. Було б правильно нормувати не тільки середню щільність, але і максимально допустиму різницю в щільності зовнішніх і середніх шарів плит так, як і допустимий розкид щільності в їх площині, що є одним з важливих показників якості плит. Розподіл щільності за товщиною матеріалу має бути симетричний.

Пропонується декілька способів та пристроїв для досягнення симетричності розподілу щільності за поперечним перерізом плит (Патент Російської Федерації №.2846836, Заявки №.5016848, 5016845, 5017717). У вказаних способах стружка одночасно пластифікується за всім обсягом килима: середній шар - за рахунок продування паром або

газом, зовнішні шари - за рахунок тепла від нагрівальних плит преса. Внаслідок цього щільність плит розподіляється рівномірно щодо їх товщини.

Співвідношення товщин зовнішніх і середнього шарів у тришаровій плиті за технологічними інструкціями рекомендується приймати сталим. З врахуванням безперервної зміни різних технологічних факторів, таке співвідношення не завжди буде оптимальним. Це призводить до того, що отримувані ДСП не мають максимальних міцнісних показників, які можна отримати внаслідок оптимізації співвідношення шарів стружкового килима.

Для оптимізації структури тришарової плити за критерієм її міцності при згині для різних величин  $\beta$  і  $\lambda$  треба знайти таке значення  $\alpha_{ш}$ , при якому значення питомих витрат на одиницю допустимого згинаючого моменту ( $C$ ) буде мінімальне, тобто

$$C = \psi(\alpha_{ш}, \beta, \lambda) \rightarrow \min \quad (53)$$

за таких обмежень

$$\begin{cases} 1.5 \leq \beta \leq 5.0 \\ 1.0 \leq \lambda \leq 5.0 \end{cases} \quad (54)$$

Функція мети має такий вигляд

$$C = \frac{d(\alpha_{ш})}{M(\alpha_{ш})} \rightarrow \min; \quad (55)$$

або

$$C = \frac{6d_c \cdot \alpha_{ш} \cdot (\lambda + 1)}{[\sigma_{пл}] \cdot \delta_{пл} \cdot a \cdot (\beta - (\beta - 1) \cdot \alpha_{ш}^3)} \rightarrow \min \quad (56)$$

Оптимальне співвідношення товщин середнього і зовнішніх шарів залежить від співвідношення вартості матеріалу шарів  $\lambda$ . Із збільшенням  $\lambda$  параметр  $\alpha_{ш}$  збільшується. Для розрахунку оптимального співвідношення шарів сформованого стружкового килима (з різними характеристиками стружки, яка входить до них, за умови найбільшої міцності при статичному згині ДСП) використовувався метод сканування пошуку екстремуму на сітці для двох параметрів

оптимізації:  $\beta$  і  $\lambda$ , розроблена програма та побудований алгоритм. Результати мінімізації виразу (56) зображені на рис.2.

**П'ятий розділ** присвячений встановленню взаємозв'язку між структурою та властивостями ДСП.

Процес структуроутворення супроводжується утворенням структурного зв'язку між компонентами плити з виявом кожного з них своїх властивостей. Характеристиками такого зв'язку прийнято міцність плит при статичному згині і при розтягу перпендикулярно до площини. Ці параметри визначають готовність плит при гарячому пресуванні, ряд інших фізико-механічних, спеціальних їх властивостей і ефективність виробництва.

За результатами багатofакторного (проведеного за планом другого порядку  $V_4$ ) експерименту розроблені регресійні моделі, які описують залежність кінцевих властивостей ДСП від режимних параметрів подрібнення і пресування (тобто встановлено взаємозв'язок між умовами отримання деревинних частинок і плит, з одного боку, і кінцевими властивостями плит, з іншого). Вони мають такий вигляд

$$\sigma_{зг} = 4.0316.\alpha - 3.989.h_3 + 0.553.K_{кл} - 0.0867.K_{зш} - 0.04696.\alpha^2 + 0.0974h_3.\alpha - 69.577; \quad (57)$$

$$\sigma_p = 0.7641 - 0.2268.h_3 - 0.01008.\alpha + 0.01135.K_{кл} + 0.0021.K_{зш} + 0.005047h_3.\alpha. \quad (58)$$

Рівні змінювання факторів:  $8 \leq K_{кл} \leq 12\%$ ,  $40 \leq K_{зш} \leq 60\%$ .

За моделлю (57) проведено оптимізацію процесу пресування плит і визначено оптимальні параметри їх виготовлення. Максимум міцності на статичний згин досягається в точці  $h_3=3\text{мм}$ ;  $\alpha=46^\circ$ ;  $K_{кл}=12\%$ ;  $K_{зш}=40\%$ . Їй відповідає значення  $\sigma_{зг}=21.255$  МПа.

Підставивши значення  $h_3=3\text{мм}$  і  $\alpha=46^\circ$  у рівняння (25)...(28), визначено оптимальну суміш деревинних частинок, при якій досягається максимальне значення міцності плит на статичний згин. Цій суміші відповідає такий фракційний склад: вміст фракції 5/3 - 10.4%; 3/2 - 31.0%; 2/1 - 29.1%; 1/0 - 29.5%.

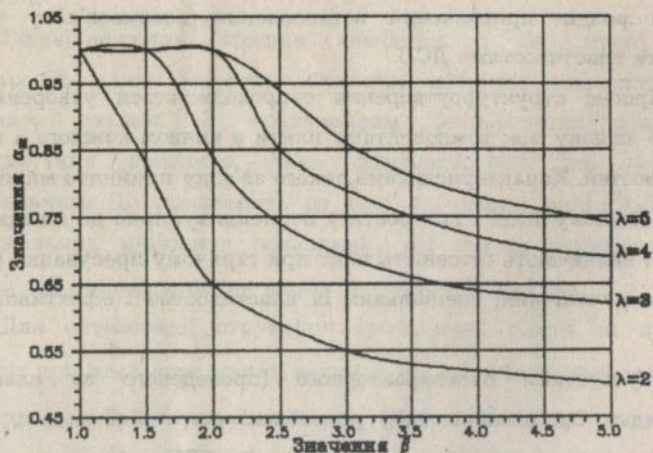


Рис.2. Номограма для визначення оптимального співвідношення шарів ДСП ( $\alpha_{opt}$ )

На підставі аналізу існуючих структурних моделей ДСП і виявлених закономірностей процесу їх структуроутворення отримано формулу для визначення міцності плит, яка має такий вигляд

$$\sigma_{пл} = \frac{\sigma_{д.ч} \rho_{пл} \rho_d \cdot P \cdot K_p \cdot S_z^2 \cdot \gamma \cdot \cos \theta \cdot \tau_k \cdot K_B \cdot (100 - \Pi_a) \cdot (90 - \varphi_c)}{43.2 \cdot 10^4 \cdot \pi \cdot R_a^2 \cdot \rho_{кл} \cdot h_{кл} \cdot \eta \cdot (1 + \Pi_n) \cdot \left( \frac{1}{l_c} + \frac{1}{b_c} + \frac{1}{h_c} \right)} \times \left( \frac{A_d}{\rho_{д.ч}} + \frac{A_c \cdot E_c}{E_d} \right); \quad (59)$$

$$A_d = 1 - W_{пл} / (100 + W_{пл}) - P / (100 + P); \quad (60)$$

$$A_c = P / \rho_{пл} \cdot [(100 + P)]. \quad (61)$$

Отримана залежність (59) є універсальна і пояснює закономірності зміни властивостей ДСП від їх внутрішньої структури. Її універсальність полягає в тому, що вона дозволяє розраховувати міцність плит як при статичному згині, так і при розтягу перпендикулярно до площини. При розрахунку  $\sigma_{зг}$  у формулу (59) під-

ставляється міцність деревинних частинок при статичному згині, а при розрахунку  $\sigma_p$  - міцність деревинних частинок при розтягу впоперек волокон.

**Шостий розділ** присвячений розробці оптимізаційної моделі виробництва ДСП.

Проаналізовано техніко-економічні моделі визначення оптимальних параметрів композиційних матеріалів. Основним техніко-економічним завданням керування виробництвом є визначення умов отримання найбільшої кількості продукції найкращої якості з найменшими витратами:

$$\Pi \rightarrow \max; C_n \rightarrow \min; Я \rightarrow \max. \quad (62)$$

Як інтегральний критерій оптимізації, який містить продуктивність, собівартість і якість плит (через їх ціну і експлуатаційні властивості), прийнято прибуток підприємства. Виконання вимог (62) дає змогу отримати максимум прибутку від реалізації плит за оптовими цінами (Ц):

$$Д = \Pi(Ц - C_n) \rightarrow \max. \quad (63)$$

Отже, задачу визначення оптимальних параметрів плит можна сформулювати так: потрібно визначити, при якому максимальному значенні функції Д

$$Д = \left( \frac{60n \cdot l_{пл} \cdot b_{пл} \cdot \delta_{пл} \cdot K_k}{10^3(\tau(\delta_{пл} + 1.5) + t_{дон})} \times (a_0 + a_1 \cdot \delta_{пл} + a_{11} \cdot \delta_{пл}^2 - \frac{\rho_{пл} \cdot 100 \cdot (100 \cdot C_1 + C_2 \cdot P \cdot K_{см})}{(100 + P) \cdot (100 + W_{пл})} \right) \quad (64)$$

буде задовольнятися обмеження, зумовлене вимогою до міцності ДСП ( $\sigma_{зг} = f(P, \rho_{пл}, \rho_d)$ ) в діапазоні:  $6 \leq P \leq 20\%$ ;  $500 \leq \rho_{пл} \leq 1000 \text{ кг/м}^3$ ;  $420 \leq \rho_d \leq 760 \text{ кг/м}^3$ ) для даної конструкції

$$\sigma_{зг} \geq \frac{6M}{b \cdot \delta_{пл}^2} \quad (65)$$

Для зв'язку функції мети (64) і обмеження (65) використовувалася формула (59). На підставі розробленої оптимізаційної моделі

виробництва ДСП розроблена програма і створений алгоритм вибору оптимальних технологічних параметрів їх виготовлення.

За запропонованою методикою можна вибрати оптимальні співвідношення щільності плит, витрати клею і температури пресування для різної конструкції ДСП. Дослідження такої моделі дає змогу обґрунтувати для кожного підприємства найкращі фізико-механічні характеристики готової продукції, а технологічний режим її виконання забезпечує високий техніко-економічний ефект.

## ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. На підставі сформульованих і обґрунтованих наукових положень, що розкривають і пояснюють технологію виготовлення ДСП із заданою структурою і властивостями вирішена важлива науково-технічна проблема, що має велике народногосподарське значення. Подано науково обґрунтовані рекомендації та пропозиції щодо вдосконалення технології, обладнання, режимів виробництва.

2. Запропонований новий підхід до дослідження основних параметрів ДСП і технологічного процесу їх виготовлення, що ґрунтується на встановленні внутрішніх зв'язків між елементами плит, виявленні закономірностей отримання елементів і формуванні структури. При цьому ДСП розглядається як система, яка складається з таких елементів: деревинних частинок, клею, пор і контактів (зв'язків) між частинками.

3. Розширені та отримані нові знання про закономірності процесу виготовлення деревинних частинок. Так, встановлено, що в процесі зрізання деревинних частинок, незважаючи на забезпечення прилягання їх до поверхні ножового барабана перед початком зрізування чергової частинки, тріска перед подачею на наступний ніж ковзає по внутрішній поверхні ножового барабана верстата ДС-7. Це збільшує опір подачі тріски в тангенціальному напрямі, що спричинює зростання енерговитрат на обертання крильчатки і на енергомісткість процесу подрібнення. Оптимальна кутова швидкість крильчатки для верстатів ДС-7 і ДС-7А розраховується за формулою (6).

Виведена формула (10) визначення необхідної кількості тріски для подачі у відцентрово-стружковий верстат при заданій його продуктивності та забезпеченні потрібної якості отримуваних деревинних частинок. Сформульовані умови раціонального подрібнення деревинної сировини та вимоги до подрібнювального обладнання.

4. Розроблені математичні моделі (13)...(28) процесу стружкоутворення в ЗСМ, що дозволило створити нове подрібнювальне обладнання (яке дає змогу покращити якість отримуваних частинок, збільшити його продуктивність і зменшити енерговитрати на процес подрібнення) і правильно підібрати його параметри. Швидкість, при якій деревинні частинки руйнуються, має становити понад 50 м/с. Відстань між зубами млина визначається залежністю (11).

Встановлена функціональна залежність роботи (12), яка витрачається на подрібнення деревини, що дає змогу визначити фактори ( $G_{\text{ч}}$ ,  $z_{\text{з}}$ ,  $z_{\text{л}}$ ,  $n_{\text{к}}$ ,  $n_{\text{б}}$ ,  $v_{\text{ч}}$ ,  $R_{\text{б}}$ ,  $t$ ), які впливають на ступінь ефективності використання енергії, і намітити заходи, спрямовані на підвищення к.к.д. процесу подрібнення: прагнути до мінімально можливих деформацій об'єму деревини; оптимізувати конструктивно-механічні параметри ЗСМ; зменшувати руйнівні напруження подрібнюваних частинок; подрібнювати деревину до визначених розмірів.

5. Запропонована оптимізаційна модель (30) процесу розмелювання технологічної тріски і розроблені оптимальні (за критерієм мінімальних енерговитрат) режими подрібнення: розміри ситових отворів 8x30 мм, товщина тріски 25 мм, частота обертання шнекового живильника  $10 \text{ хв}^{-1}$ ; щільність деревини  $540 \text{ кг/м}^3$ .

6. Встановлено, що основними структурними параметрами, які визначають структуру і властивості ДСП є:  $\rho_{\text{пл}}$ ,  $\rho_{\text{д}}$ ,  $\Pi_{\text{а}}$ ,  $S_{\text{с}}$ ,  $\epsilon_{\text{к}}$ ,  $h_{\text{кл}}$ ,  $\alpha_{\text{ш}}$ . Розроблено методики їх розрахунку і номограми, які дозволяють регулювати і керувати структурою та властивостями ДСП.

Показано, що основними факторами, які визначають щільність ДСП є: щільність деревини і ступінь спресування деревинних частинок

(тиск пресування). Вологість деревинних частинок і вміст клею в плитах менше впливають на формування щільності ДСП.

7. Встановлено, що при зміні товщини деревинних частинок в межах  $h_c=0.01\ldots 0.5$  мм  $S_c$  приймає значення від 3 до 940 м<sup>2</sup>/кг. При збільшенні  $R_a$  на 10 мкм або  $\Pi_n$  на 10% питома поверхня зростає вдвічі. Залежно від величини  $R_a$  і  $\Pi_n$ ,  $S_c$  збільшується в 1.7...5.2 рази.

Ступінь контактування деревинних частинок знаходиться в межах 0.5...1.0.

Встановлено, що: загальна пористість ДСП становить 38.2...69.4%, активна - 0.1...45.3%, об'єм пор, заповнених клеєм - 1.3...17.9%; витрата клею (залежно від маси стружки) коливається в межах: теоретична - 0.26...39.3 г/м<sup>2</sup>, фактична - 0.11...19.46 г/м<sup>2</sup>; товщина клейового шару: теоретична - 0.22...32.75 мкм, фактична - 0.01...19.46 мкм. Із зменшенням товщини деревинних частинок  $h_{кл}$  зменшується, оскільки в одиниці об'єму плити зростає їх кількість. Із збільшенням ступеня пресування  $h_{кл}$  зменшується, оскільки значна частина клею під дією високого тиску витискається в порожнини між деревинними частинками та їх пори. Збільшення розмірів деревинних частинок призводить до потовщення клейового шару.

8. Розрахована критична щільність (кг/м<sup>3</sup>) для різних порід деревини, яка становить для: ялини - 412...444; тополі, верби - 421...454; сосни, осики, липи - 457...490; вільхи - 475...508; берези - 571...604; модрина - 596...629; ясена, бука - 605...638; дуба, клена - 613...646; граба - 704...734.

За формулою (39) для заданої щільності ДСП можна підібрати оптимальні значення параметрів  $P$ ,  $W_{стр}$ ,  $\epsilon_{пр}$ , які не погіршують властивість деревини пресуватися. Максимальна ступінь пресування деревини в плитах становить для: ялини - 0.75; тополі, верби - 0.74; сосни, осики, липи - 0.72; вільхи - 0.71; берези - 0.66; модрина - 0.64; ясена, бука - 0.64; дуба, клена - 0.62; граба - 0.58.

9. Здійснений теоретичний аналіз зміни міцності ДСП від технологічних факторів і обґрунтовані шляхи зміцнення плит. Зокрема, встановлено, що резерв збільшення міцності в щільнішому вкладанні

деревинних частинок у стружковому пакеті, покращанні їх орієнтації в плитах і зміцненні взаємодії між собою. Виявлено фактори ( $P$ ,  $W_{\text{стр}}$ ,  $\rho_{\text{пл}}$ ,  $\rho_{\text{д}}$ ,  $P_{\text{а}}$ ,  $S_{\text{с}}$ ,  $\varepsilon_{\text{к}}$ ,  $h_{\text{кл}}$ ), спрямованою зміною яких можна досягнути вказаного підвищення міцності.

10. Встановлено взаємозв'язок міцності ДСП (59) з їх основними структурними факторами і термодинамічними властивостями клею, що дозволяє прогнозувати і спрямовано регулювати міцність шляхом вибору і зміни параметрів процесу структуроутворення плит.

11. Запропоновано оптимізувати макроструктуру поперечного перерізу ДСП за критерієм їх міцності при згині за умови мінімуму питомих витрат на одиницю матеріалу зовнішніх і середніх шарів. На підставі цього визначені оптимальні співвідношення шарів ДСП. Зокрема, встановлено, що при  $\lambda=3$  і  $\beta=1.5$ , а також при  $\lambda=4;5$  і  $\beta=1.5;2.0$  економічно вигідно виготовляти не тришарові, а одношарові плити. Показано, що найсприятливіші умови для отримання ДСП малої щільності забезпечуються у випадку якщо  $\rho_{\text{д}} > \rho_{\text{пл}}$ .

12. Розроблена статистична модель (57) процесу пресування ДСП, оптимізація якого дозволила визначити оптимальні параметри виготовлення деревинних частинок і пресування з них плит: розміри ситових отворів  $8 \times 30$  мм;  $h_{\text{з}}=3$  мм;  $\alpha=46^\circ$ ;  $K_{\text{кл}}=12\%$ ;  $K_{\text{з,ш}}=40\%$ ;  $q_3=10.4\%$ ;  $q_2=31.0\%$ ;  $q_1=29.1\%$ ;  $q_0=29.5\%$ . Встановлено взаємозв'язок між умовами отримання деревинних частинок і плит, з одного боку, і кінцевими властивостями ДСП, з іншого.

13. Запропоновано нові способи і обладнання для виготовлення ДСП, які дають змогу: підвищити продуктивність і зменшити енерговитрати на отримання деревинних частинок, покращити їх якість; зменшити витрати клею і покращити якість змішування шляхом рівномірного розподілу клею по поверхні деревинних частинок різних фракцій; отримувати плити з рівномірним профілем щільності за їх товщиною, інтенсифікувати процес пресування плит.

14. Розроблена оптимізаційна математична модель виробництва ДСП, яка дає змогу визначити оптимальні режимні параметри процесу їх виготовлення, виходячи з умови забезпечення заданої міцності плит

при мінімальній витраті сировини і матеріалів і при максимальному прибутку підприємства.

15. Розроблені алгоритми і ЕОМ-програми для проектування властивостей і технологічних режимів виготовлення ДСП із заданою структурою та властивостями, які рекомендуються для використання проектно-конструкторськими і науково-дослідними організаціями при вдосконаленні технологічного процесу виготовлення ДСП і для проектування сучасного високоефективного технологічного обладнання.

#### Умовні позначення:

$A$  - коефіцієнт, який враховує режимні параметри пресування (визначається за методикою В.Хрульова);

$a$  - фактична ширина перерізу плити, м;

$a_0, a_1, a_{11}$  - коефіцієнти апроксимації;

$K_b$  - коефіцієнт, який враховує втрати клею внаслідок абсорбції деревинними частинками;

$K_{вт}$  - коефіцієнт, який враховує втрати і відходи при виготовленні плит;

$K_{з.ш}$  - частка зовнішніх шарів у загальній масі плити, %;

$K_k$  - коефіцієнт використання головного конвеєра;

$K_{кл}$  - вміст клею в зовнішніх шарах ДСП, %;

$K_p$  - коефіцієнт, який враховує ступінь розподілу клею на частинках при контактуванні їх у плиті;

$K_{см}$  - коефіцієнт втрат смоли;

$K_s$  - коефіцієнт пропорційності, дорівнює роботі, яка витрачається на утворення нової поверхні;

$\Pi_a$  - пористість ДСП активна, %;

$\Pi_n$  - поверхнева пористість деревинних частинок;

$\Pi, C_{п}, Я$  - обсяг, собівартість і показник якості продукції;

$\Pi_d, \Pi_e$  - вартість деревини і електроенергії, крб/м<sup>3</sup>, крб/кВт.год;

$C_1$  - ціна одиниці маси деревини, крб;

$C_2$  - ціна клею за сухим залишком, крб;

$E$  - витрати електроенергії на розмелювання, кВт.год/т;

$E_d, E_c$  - відповідно модулі пружності деревини і клею, МПа;

$d = \sqrt{f^2 + 1}$  ;

- $D$  - зовнішній діаметр шнека, м;  
 $f$  - коефіцієнт тертя частинки по лопаті;  
 $g$  - прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  
 $G_{\text{ч}}$  - маса деревинних частинок, які знаходяться в даний момент часу в млині, кг;  
 $h_{\text{кл}}$  - товщина клейового шару, м;  
 $h_{\text{н}}$  - величина виступа ножа, м;  
 $h_{\text{тр}}$  - товщина тріски, мм;  
 $k$  - коефіцієнт відновлення;  
 $l, t$  - шлях і час подрібнення, м і с;  
 $l_{\text{с}}, b_{\text{с}}, h_{\text{с}}$  - довжина, ширина і товщина деревинних частинок, мм;  
 $l_{\text{сер}}, b_{\text{сер}}, h_{\text{сер}}$  - середньозважена довжина, ширина і товщина деревинних частинок, м;  
 $l_{\text{о}}, b_{\text{о}}$  - довжина і ширина продовгуватого отвору (для круглого отвору  $l_{\text{о}}=b_{\text{о}}$ ), мм;  
 $l_{\text{пл}}, b_{\text{пл}}$  - довжина і ширина ДСП, м;  
 $M$  - нормативний згинаючий момент, Нм;  
 $n$  - кількість робочих проміжків преса;  
 $n_{\text{к}}, n_{\text{б}}$  - частота обертання крильчатки і барабана, хв<sup>-1</sup>;  
 $n_{\text{ш}}$  - частота обертання гвинтового живильника, хв<sup>-1</sup>;  
 $N, m$  - кількість циклів деформації матеріала при співударі з лопаттю крильчатки і зубом барабана;  
 $P$  - вміст клею в плитах (за сухим залишком), %;  
 $q_3, q_2, q_1, q_0$  - вихід деревинних частинок фракцій 5/3, 3/2, 2/1, 1/0, %;  
 $Q$  - продуктивність ЗСМ, кг/год;  
 $Q_{\text{в}}$  - продуктивність верстата, кг/с;  
 $R$  - радіус ножового барабана, м;  
 $R_{\text{а}}$  - середнє арифметичне абсолютних значень відхилень профіля від базової лінії, мм;  
 $R_{\text{z}}$  - шорсткість поверхні плит, мкм;  
 $S$  - крок гвинта шнека, м;  
 $S_{\text{z}}$  - середній крок нерівностей, мм;  
 $\Delta S$  - площа поверхні, заново утвореної при подрібненні, м<sup>2</sup>;

$t_{\text{сер}}$  - середній час перебування деревинних частинок у ножовому барабані, с;  $t_{\text{сер}}=0,151\text{с}$  для верстата ДС-7,  $t_{\text{сер}}=0,131\text{с}$  для верстата ДС-7А;

$z_3, z_л$  - кількість зубів барабана і лопатей крильчатки, шт.;

$z_n$  - кількість ножів, шт.;

$Z = 1 - P/(100+P)$ ;

$V_{\text{п}}, V_{\text{м}}$  - об'єм матеріала, який піддається деформаціям стиску і зсуву,  $\text{м}^3$ ;

$\omega_k$  - кутова швидкість обертання крильчатки,  $\text{хв}^{-1}$ ;

$(\omega_k + \omega_б)$  - кутова швидкість обертання крильчатки стосовно ножового барабана, яка визначає швидкість подачі тріски на ніж,  $\text{хв}^{-1}$ ;

$W_{\text{обс}}$  - вологість обсмолених деревинних частинок, %;

$W_{\text{пл}}$  - вологість плит, %;

$W_{\text{тр}}$  - вологість технологічної тріски, %;

$\alpha_{\text{п}}$  - кут піднімання частинки над горизонтальною віссю барабана радіусом  $R_б$ , град;

$\alpha_{\text{ш}} = \delta_c / \delta_{\text{пл}}$  - коефіцієнт, який характеризує співвідношення товщин середнього та зовнішніх шарів ( $\delta_c$  - товщина середнього шару;  $\delta_{\text{пл}}$  - товщина плити);

$\beta = E_3 / E_c$  - коефіцієнт, який характеризує відношення модулів пружності зовнішніх ( $E_3$ ) та середнього ( $E_c$ ) шарів;

$\sigma_d$  - динамічне напруження, МПа;

$\sigma_{зг}, \sigma_p$  - міцність плит при статичному згині і при розтязі перпендикулярно до площини, МПа;

$\phi$  - коефіцієнт заповнення корпусу шнека матеріалом;

$\phi_c$  - середній кут орієнтації деревинних частинок, град;

$\gamma$  - поверхневий натяг клею,  $\text{Дж}/\text{м}^2$ ;

$\eta$  - в'язкість клею, Па.с;

$\lambda = d_3 / d_c$  - коефіцієнт, який характеризує відношення витрат на одиницю матеріалу зовнішніх ( $d_3$ ) та середнього ( $d_c$ ) шарів;

$\mu$  - коефіцієнт Пуассона;

$\rho_{\text{баз}}$  - базисна щільність деревини, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{\text{пл}}$  - щільність готових плит, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{\text{н}}$  - насипна щільність деревинних частинок, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{\text{д}}$  - щільність деревини, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{\text{кл}}$  - густина клею, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{\text{п}}$  - щільність деревинностружкового пакета, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{\text{в}}$  - густина води, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{\text{д.р}}$  - щільність деревної речовини, кг/м<sup>3</sup>;

$\theta$  - крайовий кут змочування клеєм частинки, град;

$\tau$  - питома тривалість гарячого пресування плит, залежить від щільності плит і температури плит преса  $\tau = f(\rho_{\text{пл}}, t)$ , хв/мм;

$\tau_{\text{к}}$  - час контакту клея і деревинної частинки до початку затвердіння, с;

$v_{\text{ч}}$  - колова швидкість переміщення частинки, м/с.

Основний зміст дисертації опубліковано в таких працях.

1. Бехта П.А. Виробництво стружки для деревинностружкових плит.-Київ:ІСДО,1995.-272с.(монографія).

2. Бехта П.А. Технологія та обладнання для виробництва деревинностружкових плит.- Київ:ІСДО,1994.-456с.(навч.посіб.)

3. Бехта П.А. Технологічні розрахунки у виробництві деревинностружкових плит.- Київ:ІСДО,1994.-156с.(навч.посіб.).

4. Bekhta P.A. A System Approach the Investigation of Particleboard //Annals of Warsaw Agricultural University.SGW,For.and Wood Technol.-1995.-No.46.-P.107-113.

5. Bekhta P. Model for determination of optimum technological parameters in particleboard production / Vybrane procesy pri chemickom spracovani dreva (Odborny seminar).-Zvolen, 1996.-P.347-351.

6. Bekhta P. System approach to the problems of control in particleboard production / Vybrane procesy pri chemickom spracovani dreva (Odborny seminar).-Zvolen, 1996.-P.353-359.

7. **Bekhta P.A.** Some Methodological Problems of Science about the Particleboards /Adhesives in Woodworking Industry.XII Symposium.-Zvolen,1995.-P.61-66.

8. **Бехта П.А.** Методичні основи формування деревностружкових плит //Лісовий журнал.- 1994.-No.1.-С.28-31.

9. **Бехта П.А.** Нові методи виробництва деревно-стружкових плит //Лісовий журнал.-1993.-No.5.-С.24-25.

10. **Бехта П.А.** Системний підхід до вивчення виробництва деревно-стружкових плит //Лісовий журнал.-1993.-No.6.-С.33-34.

11. **Шейко И.И., Ярошенко В.Л., Бехта П.А., Сагаль С.З.** Повышение эффективности использования материальных ресурсов в отраслях лесного комплекса.-Киев:УкрНИИТИ.-1986.-48с.

12. **Пучков Б.В., Бехта П.А.** Направления использования отходов лесозаготовок /Плиты и фанера:Обзор.информ.-Москва: ВНИПИЭИлеспром,1988.-Вып.2.-48с.

13. **Бехта П.А.** Способи переробки лісосічних залишків //Ліс.госпо, ліс., папер. і деревооброб. пром-сть.-1986.No.1.-С.33-34.

14. **Бехта П.А.** Особенности измельчения лесосечных отходов //Основные направления ускорения научно-технического прогресса в деревообрабатывающей промышленности в 12-й пятилетке.-Киев:УкрНИИМОД,1986.-С.108-109.

15. **Бехта П.А., Пучков Б.В.** Измельчение щепы из лесосечных отходов в зубчато-ситовой мельнице // Деревообрабатывающая промышленность.-1988.-N4.-С.8-9.

16. **Бехта П.А., Пучков Б.В.** Использование лесосечных отходов в производстве древесностружечных плит / Плиты и фанера : Экспресс-информ.-Москва:ВНИПИЭИлеспром.-1988.-Вып.9.-С.10-17.

17. **Бехта П.А.** Щепа из лесосечных отходов в производстве ДСтП /Тез.докл.XVII научн.-техн.конф.-К.:УкрНИИМОД,1989.-С.72.

18. **Бехта П.А., Бугаенко Я.П.** Физические аспекты измельчения древесины в зубчато-ситовой мельнице /Тез.докл.Всесоюз.науч.-техн.конф.молодых ученых и спец.-Архангельск,1989.С.134-135.

19. **Бехта П.А.** Вдосконалення конструкції зубчасто-ситового млина // Лісовий журнал.-К.,1993.-№4.-С.30.
20. **Бехта П.А.** Вплив швидкості деформації на показники процесу подрібнення /Науковий вісник.Вип.1.-Львів:УкрДЛТУ,1994.-С.71-78.
21. **Бехта П.А.** Сучасний стан загальної теорії подрібнення твердих тіл і її застосування до подрібнення деревини /Науковий вісник.Вип.1.-Львів:УкрДЛТУ,1994.-С.78-86.
22. **Бехта П.А.** Деякі особливості подрібнення деревини в зубчасто-ситовому млині /Науковий вісник.Вип.1.-Львів:УкрДЛТУ,1994.-С.95-98.
23. **Бехта П.А.** Фізико-механічні аспекти процесу подрібнення деревини /Науковий вісник.Вип.1.- Львів:УкрДЛТУ, 1994.С.98-103.
24. **Бехта П.А.** Структурно-механічні властивості деревностружкових плит //Лісовий журнал.-1994.-№2.-С.28-30,34.
25. **Бехта П.А.** Здрібнення деревини в зубчасто-ситовому млині // Лісовий журнал.-К.,1994.-№3.-С.31-32.
26. **Бехта П.А.** Загальне рівняння процесу здрібнення деревини в зубчасто-ситовому млині //Лісовий журнал.-1994.-№5. -С.38-40.
27. **Бехта П.А.** Деякі методологічні проблеми науки про деревностружкові плити // Лісовий журнал.- 1994.-№6.-С.35-37.
28. **Бехта П.А., Козак Р.О.** Аналіз техніко-економічних моделей визначення оптимальних параметрів композиційних матеріалів // Науковий вісник.Проблеми деревообробного виробництва. - Львів: УкрДЛТУ,1994.-Вип.2.-С.11-14.
29. **Бехта П.А.** Обґрунтування і вибір критерія оптимізації процесу виготовлення деревностружкових плит // Науковий вісник.Проблеми деревообробного виробництва. - Львів: УкрДЛТУ,1994.-Вип.2.-С.44-48.
30. **Бехта П.А., Ткач І.С.** Щодо процесу подрібнення деревини у відцентровому стружковому верстаті //Лісовий журнал.-1995.-№1.-С.38-41.

31. **Бехта П.А., Козак Р.О.** Ущільнення деревини в процесі пресування деревностружкових плит //Науковий вісник. Збірник науково-технічних праць.Вип.3.2.- Львів, УкрДЛТУ, 1995.-С.14-16.

32. **Бехта П.А., Козак Р.О.** Економічна модель визначення оптимальних параметрів деревно-стружкових плит //Лісовий журнал.-1995.-No.3.-С.43-44.

33. **Bekhta P.A.** Fundamentals of the Formation of Particleboards with Predetermined Properties /Proceedings of the Washington State University Particleboard Symposium.-Pullman, Washington, 1994.-No.28.

34. **Bekhta P.A.** The Basic Direction for Improvement of Structural-Mechanical Properties of Particleboards /Proceedings of the Washington State University Particleboard Symposium.-Pullman, Washington, 1995.-No.29.

35. **Bekhta P.A., Bekhta I.A.** Structure of Particleboards and Improvement of its Properties /Adhesives in Woodworking Industry.XII Symposium.-Zvolen, 1995.-P.67-76.

36. **Bekhta P.A., Kozak R.O.** Porosity of Particleboards /Adhesives in Woodworking Industry.XII Symposium.-Zvolen, 1995. -P.77-80.

37. **Bekhta P.A., Bekhta I.A.** The Model for Prediction of Strength of Wood Particle-Polymer Composites /Woodfiber-Plastic Composites.-Madison, Wisconsin, 1995.

38. **Bekhta P.A.** Porosity of Particleboards //Proceedings of the Washington State University Particleboard Symposium.-Pullman, Washington, 1996.-No.30.

39. **Bekhta P.A.** Particleboard Strength /Proceedings of the Washington State University Particleboard Symposium.-Pullman, Washington, 1996.-No.30.

40. **Заявка No.5016840.** Способ изготовления древесностружечных плит и устройство для его осуществления /Бехта П.А., Бехта Н.С.- Положительное решение на выдачу патента РФ от 25.06.92.

41. **Заявка No.5016845.** Способ изготовления древесностружечных плит и устройство для его осуществления /Бехта П.А., Бехта Н.С.- Положительное решение на выдачу патента РФ от 28.08.92.

42. Заявка No.5017717. Устройство для формирования древесностружечного ковра / Бехта П.А., Бехта Н.С.-Положительное решение на выдачу патента РФ от 03.07.92.

43. А.с.No.1722831 (СССР). Мельница для измельчения древесных частиц / Бехта П.А., Бехта Н.С., Бугаенко Я.П., Гендлер А.Л. - Заявл.12.01.90.Опубл.30.03.92.Бюл.No.12.

44. А.с.No.1722832 (СССР). Мельница для древесных материалов / Бехта П.А., Бехта Н.С., Гендлер А.Л.- Заявл.05.02.90. Опубл.30.03.92. Бюл.No.12.

45. А.с.No.1722833 (СССР). Мельница для размола древесины / Бехта П.А., Бехта Н.С., Бугаенко Я.П., Гендлер А.Л.- Заявл.12.01.90. Опубл.30.03.92.Бюл.No.12.

46. А.с.No.1728010 (СССР). Устройство для подготовки древесных частиц / Бехта П.А., Бехта Н.С., Щипка И.П., Симочко С.М.,Вакий М.И. -Заявл.29.05.90.Опубл.23.04.92.Бюл.No.15.

47. А.с.No.1728011 (СССР). Устройство для измельчения древесных отходов / Бехта П.А., Бехта Н.С., Щипка И.П., Симочко С.М.,Вакий М.И. -Заявл.29.05.90.Опубл.23.04.92.Бюл.No.15.

48. А.с.No.1754454 (СССР). Дробилка для изготовления стружки из щепы и кусковых древесных отходов / Бехта П.А., Бехта Н.С., Гендлер А.Л.- Заявл.05.03.90. Опубл.15.08.92.Бюл. No.30.

49. А.с.No.1781040 (СССР). Устройство для подготовки древесных частиц / Бехта П.А., Бехта Н.С., Гендлер А.Л. - Заявл.28.02.91. Опубл.15.12.92.Бюл.No.46.

50. А.с.No.1782748 (СССР). Устройство для изготовления стружки / Бехта П.А., Бехта Н.С., Щипка И.П., Симочко С.М., Вакий М.И.- Заявл. 29.05.90.Опубл.23.12.92.Бюл.No.47.

51. А.с. No.1787777 (СССР). Устройство для смешивания древесных частиц со связующим /Бехта П.А., Бехта Н.С., Гендлер А.Л.- Опубл.15.01.93.Бюл.No.2.

52. Патент Российской Федерации No.2046036. Способ изготовления древесностружечных плит /Бехта П.А.-Заявл.28.09.92. Опубл.20.10.95. Бюл.No.29.

## ABSTRACT

**Bekhta P.A. Scientific-technical fundamentals of production of particleboards with the given structure and properties.**

Dissertation thesis for the Degree of Doctor of technical science in speciality - 05.05.07 - Machines and technology of wood production complex, Ukrainian State University of Forestry and Wood Technology, Lviv, 1996.

The dissertation theses in the form of a manuscript, 39 scientific articles, 13 patents and authorized certificates submitted for defeuce are being defended. Scientific-technical bases of production of particleboards with the given structure and characteristics are elaborated. The methods of calculation and strength choice of particleboards are created. New methods and equipment for particleboards production are proposed. Scientifically based recommendations for prognosis and aimed regulation of particleboards structure and strength, for perfection of technology, equipment and conditions of production are worked out.

## АННОТАЦИЯ

**Бехта П.А. Научно-технические основы изготовления древесностружечных плит с заданной структурой и свойствами.**

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.05.07 - машины и технология лесопроизводственного комплекса, Украинский государственный лесотехнический университет, Львов, 1996.

Защищается диссертация в виде рукописи, 39 научных работ и 13 патентов и изобретений. Разработаны научно-технические основы изготовления древесностружечных плит с заданной структурой и свойствами. Создана методика расчета и выбора прочности древесностружечных плит и основных их структурных параметров. Предложены новые способы и оборудование для изготовления плит. Разработаны научно обоснованные рекомендации по прогнозированию и направленному регулированию структуры и прочности плит, совершенствованию их технологии и оборудования.

**Ключові слова:** деревинностружкова плита, деревинні частинки, структура, міцність, модель, оптимізація.

AP 22 129

439851

AB. 35739

**AB 35.739**