



Аспірант Л.В. Медвідь¹ – НЛТУ України

СТВОРЕННЯ АЛГОРИТМУ ФОРМУВАННЯ ЕТАПІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ З ВИГОТОВЛЕННЯ ЗАГОТОВОК ДЛЯ СТОЛЯРНИХ ПЛИТ ІЗ ВЖИВАНОЇ ДЕРЕВИНИ

Розглянуто проблему раціонального використання ВЖД шляхом створення алгоритму формування етапів технологічного процесу з виготовлення СП різних конструкцій, який ґрунтується на поетапному аналізі та моделюванні технологічних операцій. Запропоновано загальну структурну схему перероблення ВЖД, що охоплює всі основні технологічні ланки — від збирання матеріалу до формування готових плит, що дозволяє раціоналізувати виробничий процес і зменшити втрати матеріалу. Моделювання технологічних рішень довело ефективність поетапного підходу до перероблення ВЖД, особливо з урахуванням її різномірності, забруднення та пошкоджень. Обґрунтовано, що найбільш реальним і практично застосовним підходом до вирішення завдання сортування є аналіз (обсягів накопичення ВЖД для матеріального чи енергетичного використання), обсягів ВЖД за величиною забруднення (сортування за категоріями), обсягів ВЖД за розмірною придатністю (для одержання специфікаційних заготовок) та опис самої процедури прийняття поточних рішень про достатні обсяги ВЖД. Запропоновано способи поверхневого очищення ВЖД, зокрема, механізований спосіб за допомогою голкофрезерного інструменту. Виготовлення розмірно-придатних заготовок із ВЖД є ключовим етапом, що забезпечує стабільну якість готової столярної продукції та підвищує ефективність використання вторинної сировини. Розроблено типовий план цеху, у якому передбачено сортування ВЖД за чотирма категоріями, за видом матеріалу — масив, плита; видаленням металевих включень та інших забруднень. Основою цеху є верстати прохідного типу для здійснення операцій поверхневого поздовжнього очищення. Зокрема, для ВЖД-I використовується чотирибічний шліфувальний, для ВЖД-II — двобічношліфувальний, для ВЖД-III — двобічний голкофрезерний, для ВЖД-IV — чотирибічний голкофрезерний. Такий підхід сприяє оптимізації виробничих процесів, підвищенню ефективності перероблення матеріалу та зменшенню відходів деревини. Підготовлена за такими стадіями та рекомендаціями ВЖД є додатковою сировиною для виготовлення столярної плити та інших конструкційних матеріалів.

Ключові слова: вживана деревина, столярні плити, технологічний процес, алгоритм, перероблення деревини, моделювання, заготовки, сортування, розкрій, вторинна сировина.

Актуальність. Сучасні виклики у сфері деревообробної промисловості зумовлюють необхідність переходу до ресурсозберігаючих [29, 32, 36, 39, 41, 47, 52, 54, 64, 83, 87] та екологічно орієнтованих технологій. Потенційним ресурсом та невикористаною базою деревної сировини, запаси якої збільшуються в міру розвитку промисловості та господарства, в цілому, є запаси ВЖД [9, 10, 11, 13, 21, 25, 33, 39, 43, 51, 63]. Вирішення поставлених проблем ускладнюються різноманітністю ВЖД, наявністю металевих та інших включень, а також різних видів забруднювачів у ВЖД, яка за некоректного сортування та очищення, може спричинити значні відхилення результатів прогнозування властивостей [3, 15, 16, 24, 28, 37, 58, 71, 72, 76, 77, 82, 85] одержаної продукції від властивостей виробів, отриманих з первинної сировини, що є неприйнятним для споживачів. Одним із перспективних напрямів є використання ВЖД як сировини для виготовлення нових виробів [6, 14, 16, 33, 34, 50, 68, 78, 81, 84, 92, 93], зокрема столярних плит (СП). У контексті глобального зростання вартості деревини, обмеженості лісових ресу-

¹ Медвідь Любомир Володимирович — аспірант, кафедра технології меблів і виробів з деревини. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103. м. Львів, 79057, Україна. Тел.: 032-258-31-75, +38-093-494-50-13. E-mail: lyubomyr.medvid@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6654-9348>

рсів та актуальних вимог до зменшення обсягів відходів, перероблення ВЖД набуває особливої практичної цінності. Разом з тим, відсутність чітко сформованих технологічних алгоритмів, які б охоплювали всі етапи трансформації вживаного деревинного матеріалу у якісні столярні заготовки, стримує широке впровадження цієї ідеї у виробництво. Тому розроблення алгоритму формування етапів технологічного процесу з виготовлення СП із ВЖД [20, 21, 24, 26, 31, 40, 43, 67, 52, 54, 64, 83, 87] є своєчасним і важливим науково-практичним завданням.

Проблемність. Незважаючи на потенціал повторного використання деревини, на сьогодні відсутні уніфіковані підходи до оцінки [4, 5], сортування [1, 2] та технологічної підготовки вживаного матеріалу [25, 74, 89]. Основні проблеми включають: різномірність фізико-механічних властивостей ВЖД; високий рівень забруднення, дефектів і залишків старих покриттів; складність визначення придатності матеріалу до подальшої обробки; відсутність системного підходу до моделювання процесу виготовлення заготовок для СП різних конструкцій. Тобто, загальна проблема досліджень – відсутність ресурсощадних та екологічнобезпечних технологій [23, 44, 46, 48, 49, 59, 62, 63, 93] з практичними рекомендаціями щодо використання ВЖД в деревообробленні. Це зумовлює необхідність розроблення структурованого алгоритму, який би поєднував усі ключові технологічні етапи – від збирання й сортування [1, 2] до отримання якісних заготовок. Такий підхід дозволяє забезпечити стабільність якості кінцевого продукту, зменшити виробничі втрати та підвищити ефективність перероблення вживаних матеріалів.

Мета дослідження – розробити алгоритм формування етапів технологічного процесу з виготовлення СП із ВЖД шляхом моделювання логічної послідовності технологічних операцій перероблення та оптимізації підготовки заготовок для плит різних конструкцій. **Об’єкт дослідження** – технологічний процес перероблення ВЖД у столярні плити. **Предмет дослідження** – структура, логіка та послідовність технологічних операцій при формуванні заготовок із ВЖД для виготовлення СП. **Завдання дослідження:** Проаналізувати сучасні підходи до повторного використання деревини у виробництві столярних виробів. Визначити основні вимоги до технологічних операцій під час перероблення ВЖД. Розробити загальну структурну схему алгоритму технологічного процесу, що охоплює ключові етапи: збирання, накопичення, сортування, розкрій, очищення, підготовка заготовок. Моделювати логічну послідовність операцій з урахуванням якісних характеристик ВЖД. Обґрунтувати доцільність застосування запропонованого алгоритму для виготовлення СП різних конструкцій [24, 26, 31, 40, 43, 67, 52].

Аналіз літературних джерел. Проблематика повторного використання деревини у деревообробній промисловості дедалі більше привертає увагу науковців і практиків у контексті сталого розвитку, зменшення кількості відходів і дефіциту якісної деревинної сировини [22, 23, 39, 50, 56, 57, 60, 80, 81, 91]. У низці досліджень [29, 32, 36, 39, 41, 47, 52, 54] розглянуто можливості вторинного використання деревини з будівельних і меблевих відходів для виготовлення елементів нових виробів, зокрема ДСП [12, 13, 35, 50, 80], меблевих щитів [6, 17, 19, 27, 45, 75, 76, 77], клеєних брусів та облицювальних панелей. Дослідження вітчизняних та зарубіжних вчених із зазначеної проблеми стосуються, в основному, використання виробничих деревних відходів для палива [7, 8, 53, 54], без залучення ВЖД до процесу перероблення – виготовлення виробів з неї. Результати їхніх досліджень свідчать, що дана проблема не є повністю вирішеною, позаяк не розроблено нау-

кової бази та практичних рекомендацій для ефективних виробничих процесів з прогнозуванням властивостей продукції із ВЖД. У роботах [9, 10, 11, 13, 21, 25, 33, 39, 43, 51, 63] зазначено, що використання ВЖД супроводжується низкою технологічних труднощів, пов'язаних із різномірністю її фізико-механічних властивостей, залишками старих покриттів, елементами кріплення та значним зношенням структури волокон. Водночас автори підкреслюють потенціал цієї сировини за умови ефективного сортування, дефектації та адаптованої обробки.

Окремі дослідники [1, 2, 10, 14, 18, 25, 74] пропонують підходи до сортування і попереднього очищення ВЖД, проте вони здебільшого мають фрагментарний характер і не охоплюють усього ланцюга перетворення від забору матеріалу до отримання готової заготовки. Роботи [17, 75, 76, 77, 82, 84, 85, 88] фокусуються на технологіях розкрою та зрощування короткомірів, але без цілісного алгоритмічного узагальнення процесу. На сучасному етапі відчувається брак досліджень, які б системно моделювали увесь процес перетворення ВЖД на заготовки для СП — із чітким визначенням етапів, критеріїв придатності матеріалу, технологічної послідовності та типових рішень для плит різної конструкції. Це створює прогалину у науковому забезпеченні практики, яка вимагає універсальних і адаптивних алгоритмів для роботи з повторно використаною деревиною. Таким чином, актуальність і новизна цього дослідження полягає в тому, що воно комплексно вирішує завдання формування структурованого алгоритму перероблення ВЖД для потреб виготовлення СП, поєднуючи наукове моделювання з практично орієнтованими гнучкими технологічними рішеннями [1, 2, 30, 38, 55, 61, 65, 66, 70, 79, 86, 89, 93].

Результати досліджень.

Розроблення технологічної структурної схеми перероблення ВЖД на вироби. Загальна структурна схема алгоритму перероблення ВЖД на вироби містить у своєму складі такі основні логічні технології: збирання, накопичення, сортування, розкрій, очищення, виготовлення конструкційних виробів (рис. 1).

Покрокова процедура алгоритму матеріального перероблення ВЖД:

Крок 1. Збирання ВЖД за місцями походження: торгівельної мережі та послуг транспорту, будівництва, сировинних та деревообробних галузей, спожитих меблевих та інших виробів, деревинних муніципальних відходів, деревинних тпв та інших надходжень.

Крок 2. Первинне сортування з візуальним розподілом на складі за критеріями оцінки.

Крок 3. Розбирання та демонтаж складних конструкцій, наприклад: дахових сплетінь, альтанок, гідротехнічних споруд, арок, садово-паркових, віконних і дверних блоків та інших виробів з деревини з видаленням фурнітури, металевих та інших зовнішніх забруднень.

Крок 4. Сортування за забрудненням згідно з категорією ВЖД, сортування за призначенням, за специфікаційною придатністю, за майбутнім видом продукції і т. п.

Крок 5. Проводиться за потреби детальний аналіз ВЖД на токсичність, на радіонукліди, на забрудненість шкідливими та небезпечними речовинами. Крок 6. Здійснюється зовнішнє очищення від металевих включень із залучення до даної операції металодетекторів.

Крок 7. Розкрій масивної ВЖД проводиться за поперечно-повздовжньо-поперечною схемою. Спочатку проводиться відтинання торців, наприклад шипових кутових з'єднань, потім повздовжній розкрій на рейки, а тоді – розкрій на кратні заготовки за довжиною.

Крок 8. Поверхнєве очищення забруднених поверхонь деяких заготовок одним із способів, наприклад, голкофрезерним інструментом. Крок 9. Технологія виготовлення СП із ВЖД.

Крок 10. Перевірка одержаних СП із ВЖД за нормативними характеристиками.

Крок 11. Прийняття рішення про ефективність залучення ВЖД для матеріального використання, зокрема для виготовлення СП.

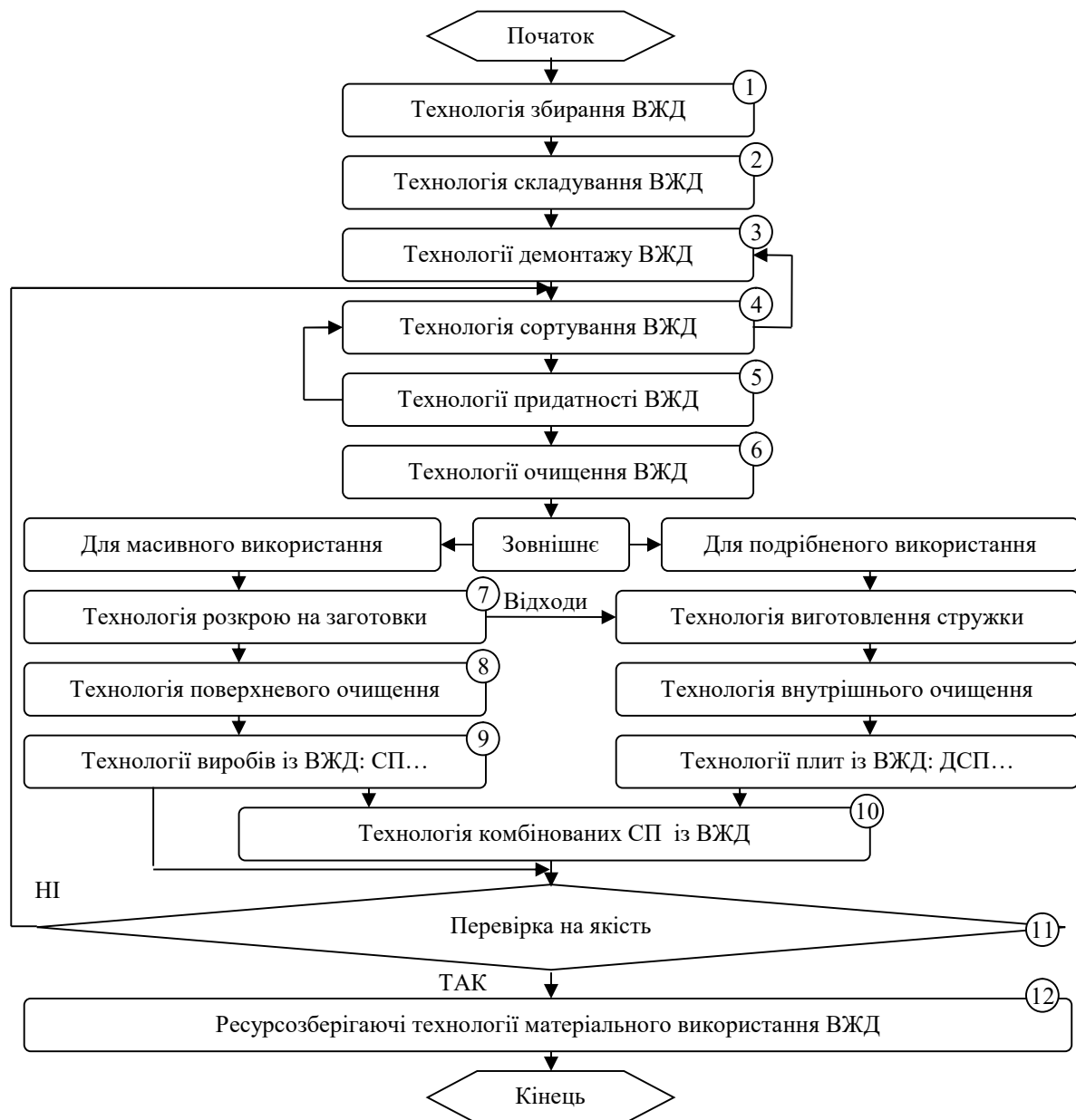


Рис. 1. Блок-схема технологічного алгоритму перетворення ВЖД на вироби

Структура підготовки ВЖД. Моделювання процесу підготовки ВЖД до перероблення містить наступні критерії оцінки ВЖД, які подано у табл. 1. Структурована технологія підготовки ВЖД охоплює такі технологічні процеси: сортування (за категоріями, за породою, за матеріалом, за вологістю, за токсичністю), очищення (вид, спосіб, метод, схема, якість) та розкрій (спосіб, вид, схема, вихід, специфікація) з використання відповідного устаткування.

Таблиця 1. Моделювання процесу підготовки ВЖД

Стадії підготовки	Критерії оцінки за			
	Походженням	Матеріалом	Видом	Типом
Ідентифікація	Вологістю	Токсичністю	Радіацією	Розміром
Сегрегація	Забрудненням	Призначенням	Матеріалом	Породою
Сортування	ВЖД-I	ВЖД-II	ВЖД-III	ВЖД-IV
Поділ на категорії	До виготовлення певного виду продукції			
Придатність	У подрібненому вигляді		У цілісному вигляді	
Використання	Зовнішнє	Поверхневе	Внутрішнє	Комплексне
Очищення	Тріска	Стружка	Поперечний	Повздовжній
Розкрій/подрібнення				

Розроблення правил сортування ВЖД та їх особливості процесу. Асортимент ВЖД є дуже широким, тому процес сортування є найбільш складним. Кінцева мета сортування –відбір придатної якісної ВЖД для виконання специфікаційного завдання. Складність полягає у тому, що немає попередньої інформації про характеристики зібраної насипом на складі ВЖД, оскільки таку інформацію можемо одержати вже безпосередньо перед її сортуванням. Завдання полягає у тому, щоб із відібраної ВЖД у майбутньому випилити заготовки та обробити їх на рейки для СП. Оператору-сортувальнику потрібно наперед з максимальною ймовірністю передбачати одержання відповідної кількості заготовок з розмірно-придатної ВЖД. Постановка задачі ускладнюється тим, що ВЖД вибираються випадково із накопичення її на складі і наперед невідомо, якого формату буде наступна ВЖД. Найбільш реальним і можливо єдиним на сьогодні практично застосовним підходом до вирішення описаної задачі є опис (поточного визначення) обсягів накопичення ВЖД для матеріального чи енергетичного використання, обсягів за величиною забруднення (сортування за категоріями), обсягів за розмірною придатністю (для одержання специфікацій них заготовок) і самої процедури прийняття поточних рішень про достатні обсяги ВЖД, що забезпечать одержання необхідної кількості якісних заготовок, методами теорії нечітких множин. Для моделювання процесу сортування на розмірно-придатну ВЖД вибрано режим роботи сортувального конвеєра, за якого проводиться сортування за категоріями та за матеріалом з наперед заданими їх обсягами за кожною придатною групою.

Основні припущення: вимоги до розмірно-придатних груп однакові; сортувальний конвеєр працює в нормальному режимі, на вході завжди є ВЖД, а в зонах накопичення відповідних груп завжди є місця для чергової одиниці ВЖД; під час роботи сортувального конвеєра постійно здійснюється облік обсягу отриманої ВЖД кожної розмірно-придатної групи; на конвеєр надходить ВЖД, яка перевірена на токсичність, на радіонукліди, на шкідливі вclusions, на наявність металевих включень, і яка може бути ідентифікована сканером, що визначає якість на даному етапі.

Під час формування правил використовували наступні твердження:

- зі збільшенням обсягу ВЖД для матеріального використання пріоритет ВЖД на сортування певної розмірно-придатної групи понижуватиметься;
- зі збільшенням обсягу якісної ВЖД (за величиною забруднення згідно з категоріями) пріоритет ВЖД на сортування певної розмірно-придатної групи понижуватиметься;
- зі збільшенням обсягу ВЖД за розмірною придатністю кожної категорії, починаючи від ВЖД-I, пріоритет ВЖД на сортування певної розмірно-придатної групи понижуватиметься;
- завжди відсортовуватиметься ВЖД з найвищим пріоритетом;
- пріоритет на сортування мають чисті ВЖД категорії ВЖД-I;
- пріоритет відсортованих в повному обсязі ВЖД буде дорівнювати нулю;
- великогабаритна ВЖД (наприклад, каркаси дахових конструкцій) має пріоритет над короткомірною, але розмірно-придатною ВЖД;
- у випадку, коли довжина ВЖД менша від розмірно-придатної для майбутнього виробу пріоритет заготовки дорівнює нулю.

Таким чином, під час надходження на сортування ВЖД, розроблена НЕС визначає пріоритет ВЖД на доцільність сортування ВЖД певної розмірно-придатної групи (за видом матеріалу) з конкретної категорії (ВЖД-I, ВЖД-II, ВЖД-III), щоб задовольнити в майбутньому розмірні специфікації виробів з деревини. Після визначення пріоритетів ВЖД на сортування приймається рішення про сортування ВЖД з найвищим пріоритетом. У підсумку, сукупність таких рішень для розмірно-придатної групи (за видом матеріалу) дозволить змоделювати технологічний процес сортування ВЖД та забезпечити виконання специфікації при розкрою. Суть у знаходженні таких її параметрів, які дозволять досягнути раціонального значення специфікаційного обсягу відсортованої ВЖД, що дозволить у майбутньому випилати заготовки відповідної специфікації (рис. 2).

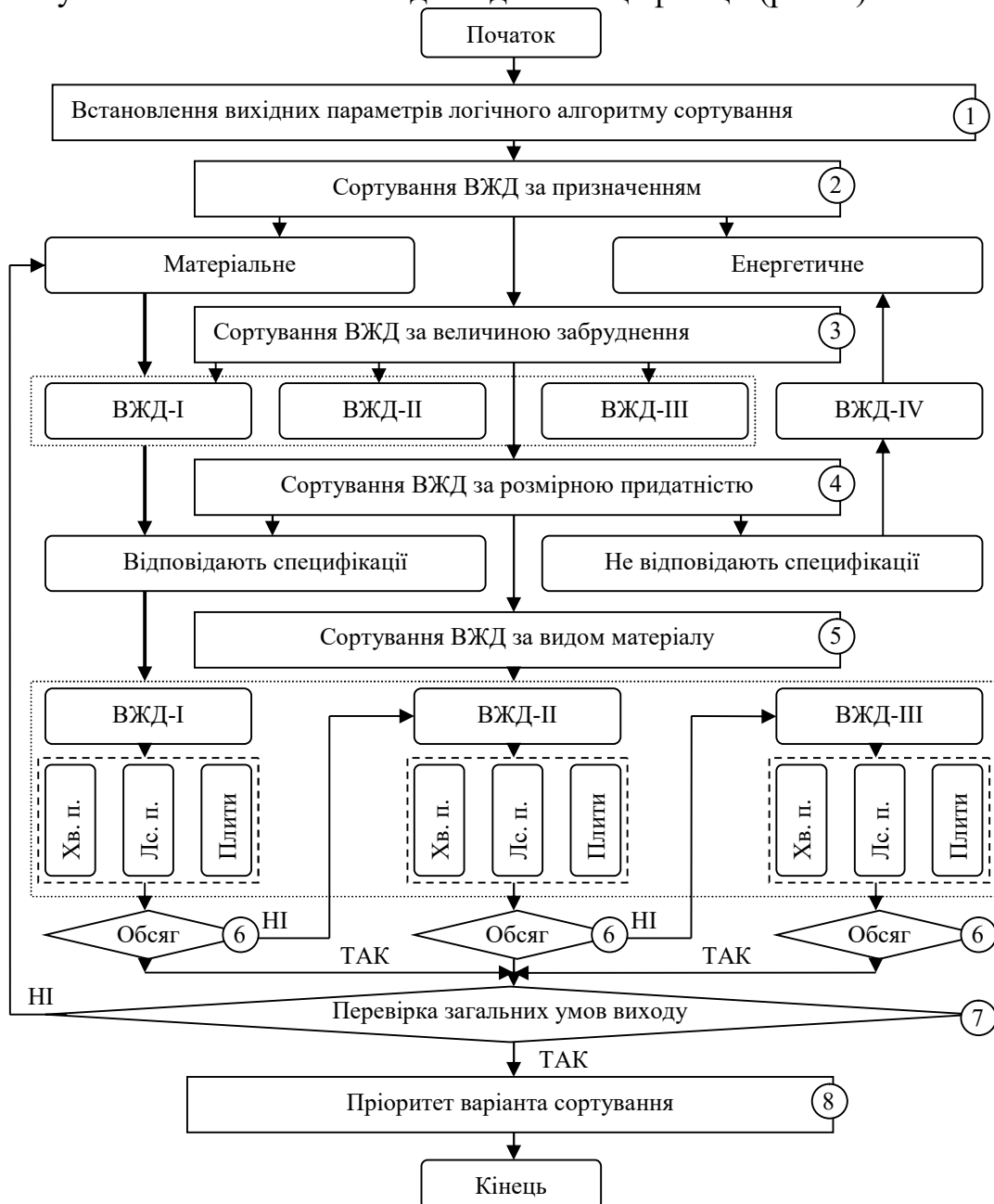


Рис. 2. Блок-схема логічного алгоритму (алгоритму моделювання) для визначення пріоритетного варіанту сортування ВЖД

Покрокова процедура логічного алгоритму для визначення пріоритетного варіанту сортування ВЖД:

Крок 1. Задаємо вихідні параметри логічного алгоритму сортування ВЖД, що забезпечать виконання специфікаційного завдання щодо обсягів розмірно-придатної ВЖД категорій за групами: I – хвойних порід; II – листяних порід; III – плитних матеріалів.

Крок 2. Сортиємо ВЖД за матеріальним та енергетичним призначенням.

Крок 3. Сортиємо ВЖД за величиною забруднення, тобто відповідно кваліфікаційних ознак – за категоріями ВЖД-I, ВЖД-II, ВЖД-III, ВЖД-IV. ВЖД-I – найчистіша ВЖД, ВЖД-IV – найбільш забруднена.

Крок 4. Сортиємо ВЖД за розмірною придатністю, тобто, знаючи специфікації майбутніх заготовок, відбираємо ВЖД більших розмірів.

Крок 5. Сортиємо ВЖД за матеріалом, тобто за породами хвойних та листяних порід. За потреби здійснюємо сортування за конкретними породами.

Крок 6. Аналізуємо обсяги відсортованої ВЖД за пріоритетністю починаючи від ВЖД-I до ВЖД-III, за всіма видами матеріалів. Аналізуємо обсяги відсортованої ВЖД за пріоритетністю кожної групи: I – хвойних порід; II – листяних порід; III – плитних матеріалів. Аналізуємо обсяги відсортованої ВЖД за пріоритетністю згідно з розмірами в специфікаціях майбутніх виробів.

Крок 7. Перевіряємо загальний обсяг виходу ВЖД. Аналізуємо можливі варіанти сортування та приймаємо рішення про оптимальний варіант.

Крок 8. Приймаємо рішення про пріоритет сортування за оптимальним варіантом в конкретний момент часу.

Середньозважені відсотки ВЖД при розрахунку обсягів ВЖД для матеріального використання, при сортуванні ВЖД за категоріями, при визначенні розмірно-придатної ВЖД при використанні її в масивному, цілісному, тобто неподрібненому вигляді подано на рис. 2. Як бачимо, 92 % матеріально придатної ВЖД надходить на сортування за категоріями, з цієї кількості для трьох перших категорій залишається 83 %. З кожної категорії маємо свої відсотки розмірно-придатної ВЖД: ВЖД-I становить 69 %, ВЖД-II – 66 %, а ВЖД-III – 50 %. У підсумку відсоток розмірно-придатної ВЖД становить 60 % від 83 % для матеріального використання, або 50 % від всієї ВЖД, що призначалась для сортування.

Особливості виготовлення розмірно-придатних заготовок для СП. Величезний асортимент ВЖД, який може потрапити на перероблення, потребує різнобічного аналізу, щоб стати вторинним деревинним ресурсом для потреб галузі. Надходження ВЖД на склади підприємств, де вже закладено витрати на збирання та транспортування, вимагає підвищення рівня її матеріального використання – максимального виготовлення розмірно-якісних заготовок із розмірно придатної ВЖД відповідно до специфікаційних замовлень. А на цей технологічний процес впливає багато чинників: властивості ВЖД: вологість, щільність, твердість, розбухання, величина поперечної анізотропії, міцність на сколювання вздовж волокон, міцність при статичному згині, коефіцієнти поперечної деформації, модуль пружності при статичному згині, модуль пружності при стиску, модуль зсуву, напруження; розмірно-якісна характеристика ВЖД: форма, довжина, товщина, ширина, площа, категорія, забрудненість, походження, вік, угруповання, різновидність; специфікація ЧЗ із ВЖД: довжина, товщина, ширина, вид перерізу, вид обробки.

Блок-схема евристичної моделі величини витрати ВЖД на виробництво чорнових заготовок заданої специфікації наведена на рис. 3.



Рис. 3. Блок-схема евристичної моделі величини витрати ВЖД на виробництво чорнових заготовок заданої специфікації

За результатами аналізу впливових чинників встановлено, що для визначення обсягу та підвищення точності визначення величини витрат заготовленої ВЖД у випилюванні заготовок доцільно поставити її у залежність від походження, величини забруднення та методу прогнозування об'ємного виходу розмірно-якісних заготовок за умови зміни їх специфікаційних розмірів. Адже при сортуванні визначальним є розмірна придатність ВЖД для майбутніх розмірно-якісних заготовок. Результати аналізу свідчать, властивості ВЖД навіть однакових порід, але різного походження відрізняються та можуть вимагати різних способів сортування, випилювання та очищення. У зв'язку з цим маємо також багато вхідних чинників: технологія сортування ВЖД: за категоріями, за породою, за матеріалом, за вологістю, за токсичністю, за походженням; технологія розкрою ВЖД: спосіб розкрою, метод відпилювання, схема розкрою, корисний вихід, специфікація відходів; технологія очищення ВЖД: вид очищення, спосіб очищення, метод очищення, схема очищення, якість очищення. Тип устаткування для сортування ВЖД: сортувальний пристрій, металошукач, вологомір, аналізатор токсичності, сканер; тип устаткування для очищення ВЖД: шліфувальний, фрезерний, щітковий, голкофрезерний верстати; тип устаткування для розкрою ВЖД: круглопилковий, багатопилковий, стрічкопилковий, форматно-розкрійний верстати, ручний електрифікований інструмент; рівень ПВП: кваліфікація персоналу, навички і стаж, відповідальність, досвід роботи.

Тому сьогодні актуальним завданням з матеріального перероблення ВЖД є визначення корисних виходів розмірно-придатної ВЖД та розроблення зручного програмного забезпечення для практичного користування в умовах виробництва з прогнозування об'ємного виходу заготовок заданої специфікації (габаритних розмірів, виду перерізу, кількості та якості), а також удосконалення розкрою ВЖД,

що має бути спрямоване на отримання максимально можливого корисного виходу запланованих специфікаційних заготовок.

Технологічні рішення з очищення ВЖД. Вироби з деревини для довготривалої експлуатації оброблялися органічними і неорганічними засобами захисту, облагороджувались лакофарбовими, паперовими або плівковими матеріалами. Ці засоби захисту, консерванти, завдяки структурі деревини і технологій облагородження, розташовуються на поверхні деревини або проникають безпосередньо в структуру деревини на долі міліметра її поверхні. Разом з видами домішок, перерахованих вище, часто відбувається вивітрювання деревини, яке відбувається через погодні умови навіть у захищеній деревині і, яке можна розрізнити за більшою крихкістю і за потемнінням поверхні деревини. У всіх цих описаних випадках, необхідно проводити поверхневе очищення від захисних покриттів або знімати певну кількість поверхневого шару дерев'яного матеріалу, щоб забезпечити можливість використання залишкової внутрішньої якісної частини ВЖД для матеріального виробництва. Механічне оброблення ВЖД фрезеруванням, струганням чи шліфуванням поверхні, виходячи з вище викладених міркувань, не завжди може бути виконане. Це також пов'язано з наявністю мінеральних домішок і металевих включень, з різними і неправильними формами, розмірами ВЖД.

Таким чином, вживана деревина, маючи широкий асортимент походження та різний ступінь забруднення, за матеріального використання потребує різного виду очищення: зовнішнього, поверхневого та внутрішнього. Щоб забезпечити якісно підготовлену ВЖД до технологічних процесів виготовлення продукції, потрібні технологічні і економічно обґрунтовані способи очищення ВЖД. Є два основні способи очищення забрудненої поверхні: сухий і вологий, і, в залежності від виду обробки, використовується той чи інший інструмент, компонент для безпосереднього очищення (табл. 2). Для суттєвого збільшення обсягу матеріальної придатної ВЖД, необхідно вирішити проблему поверхневого очищення і, в першу чергу, механізованим способом, зокрема, голкофрезерним інструментом.

Таблиця 2. Інструменти та компоненти для способів очищення ВЖД

Спосіб	ВЖД	Компоненти для очищення				
Сухий	Ручний	пилка	щітка	ніж	інструмент	
	Обладнанням	пісок	стиснуте повітря		гаряче повітря	
	Інструмент верстатів	фреза, абразив	голкофреза	ножовий вал	шипові ролики	барабан ротора
Вологий	Ручний	пилка	щітка	ніж	інструмент	
	Механічний	верстат	обладнання	пристрій	автоклав	басейн
	Хіміко-термічний	агент	темпе-ра	тиск	вакуум	час
	Гідротермічний	вода	темпе-ра	тиск	вакуум	час
	Паротермічний	пара	темпе-ра	тиск	вакуум	час

Актуальною особливістю голкофрезерного інструменту є його гнучка робоча поверхня, утворена безліччю робочих елементів – пружних кінцівок дротинок, що дозволяє використовувати дротовий інструмент для обробки заготовок з можливими відхиленнями від правильної геометричної форми. Ворсом голкофрези є сталевий пружинний дріт (60Г) діаметром 0,3 ... 0,9 мм.

З огляду на вищевказані переваги голкофрезерного інструменту, в процесі досліджень, визначено основні сфери застосування голкофрез у деревообробній

галузі, а саме очищення ВЖД від поверхневих забруднень: ефективно використання голкофрезерного інструменту для зняття лакофарбового матеріалу і матеріалу облицювання, включаючи ПВХ-плівки в процесі утилізації ВЖД – елементів старих меблевих, столярно-будівельних та інших виробів; заміна стругання чи фрезерування ВЖД голчастим інструментом з метою отримання підготовленої поверхні для подальшого матеріального використання; механічне оброблення модифікованих, особливо просочених деревинних матеріалів підвищеної твердості; отримання гребінчастої оброблюваної поверхні в процесі обробки еластичною голкофрезною масивною деревиною з явно вираженими ранньою і пізніми зонами.

Побудова технологічного процесу перероблення ВЖД на розмірно-придатні заготовки з розподілом обладнання в цеху. Основним устаткуванням проектного цеху з підготовки ВЖД є верстати прохідного типу для здійснення операцій поверхневого очищення: двобічний і чотирибічний голкофрезерні верстати. Розроблено типовий план цеху розміром 36×24 м, у якому передбачено сортування ВЖД за чотирма категоріями, за видом матеріалу – масив, плита; видаленням металевих включень та інших забруднень (рис. 4). Особливістю цеху є поділ його на чотири потоки. У першому та другому обробляється масивна ВЖД – відповідно категорій: чиста ВЖД-I та забруднена ВЖД-IV.

В іншій половині цеху проводять оброблення плитних матеріалів: в третьому потоці – ВЖД-II, яка забруднена лакофарбовими матеріалами без речовин захисту деревини та без галогеноорганічних зв'язків у покриттях; в четвертому потоці – ВЖД-III, яка забруднена лакофарбовими матеріалами без речовин захисту деревини, але з галогеноорганічними зв'язками у покриттях.

речовин захисту деревини, але з галогеноорганічними зв'язкам

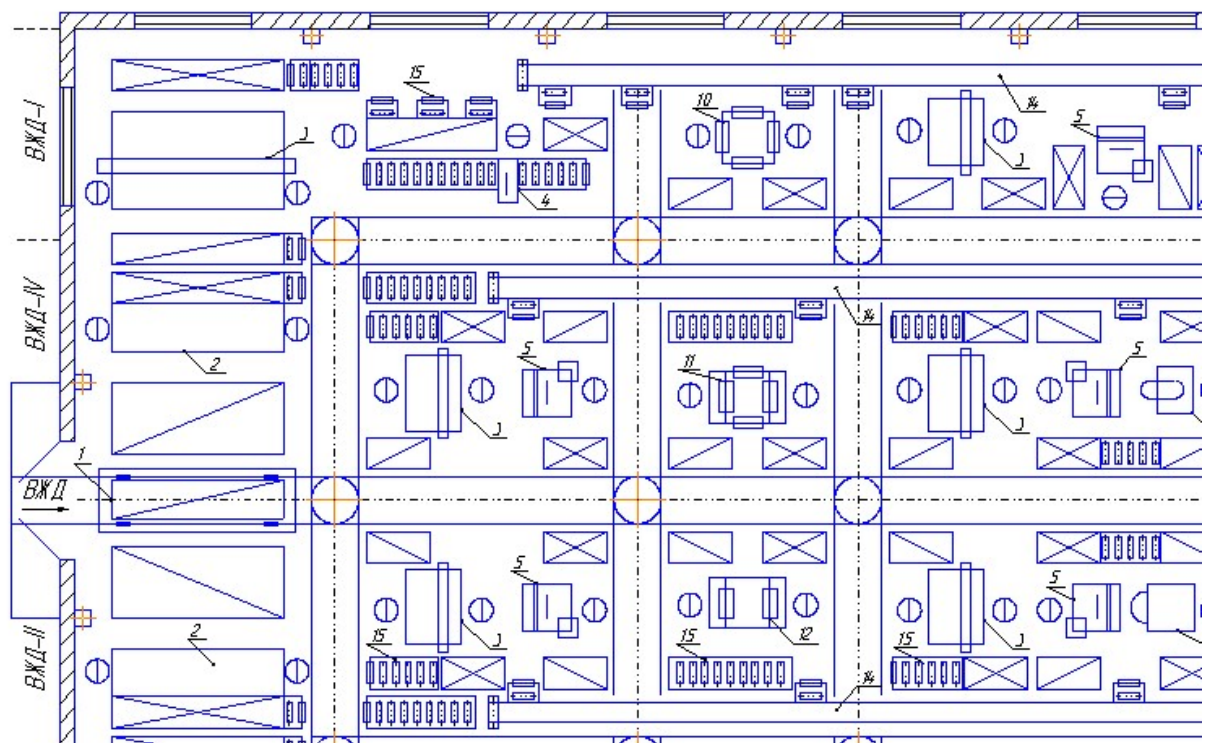


Рис. 4. – Типовий план цеху з очищення ВЖД: 1 – траверсів візок, 2 – робочий стіл, 3 – металодетектор, 4 – торцювальний в-т, 5 – круглопилковий в-т, 6 – стрікопильний в-т, 7 – фрезерний в-т, 8 – крайкошліфувальний в-т, 9 – форматно-розкрійний в-т, 10 – чотирибічний шліфувальний в-т, 11 – чотирибічний голкофрезерний в-т, 12 – двобічний голкофрезерний в-т, 13 – двобічний шліфувальний в-т, 14 – конвеєр, 15 – секції рольганга

Після поділу за видом матеріалу та ідентифікації за якістю проводять операцію зовнішнього очищення від металевих та інших видимих включень. Виявлення металевих елементів здійснюють за допомогою металодетекторів, які встановлені для кожного виду матеріалу з двох боків від центрального заїзду в цех. Після здійснення відповідних міток, проводиться випилювання дефектних місць та ВЖД з металевими включеннями, які видаляються з цеху боковими стрічковими конвеєрами і транспортується траверсними візками до іншого цеху – подрібнення та очищення. Далі на розкрійних верстатах відтинають дефектні місця та розкроюють на кратні заготовки, які надходять на операції поверхневого очищення голкофрезерними та шліфувальними верстатами. Після поверхневого очищення, за потреби, проводиться повторне виявлення металевих включень за допомогою металодетекторів, які є у кожному з чотирьох потоків. Бездефектна ВЖД стає придатною для одержання заготовок на верстатах вторинного машинного оброблення. Основою цеху є верстати прохідного типу для здійснення операцій поверхневого поздовжнього очищення. Зокрема, для ВЖД-I використовується чотирибічний шліфувальний, для ВЖД-II – двобічношліфувальний, для ВЖД-III – двобічногголкофрезерний, для ВЖД-IV – чотирибічний голкофрезерний.

Таким чином, підготовлена ВЖД за такими стадіями та рекомендаціями (табл. 3) є додатковою сировиною для виготовлення столярної плити, меблевого щита та інших виробів з деревини.

Таблиця 3. Рекомендації до технологічного процесу підготовки ВЖД

№	Стадії та операції	Устаткування
1	Збирання, накопичування за типом	Місця утворення, господарства
2	Привезення до місць перероблення	Транспортні засоби
3	Ідентифікація ВЖД за категоріями	Візуально, приладами
4	Сортування за матеріалом, породою	Вручну, автоматично
5	Сегрегація за вологістю, забрудненням	Візуально, приладами
6	Індикація на недопустимі хімікалії	Індикатор, дослідження
7	Очищення від зовнішніх включень	Інструмент, фізично
8	Видалення видимого металу	Метало-детектор, фізично
9	Очищення від покриттів (плівок)	Верстати для очищення
10	Розподіл за технологіями	Процеси перероблення

Висновки:

1. У результаті дослідження розроблено алгоритм формування етапів технологічного процесу виготовлення СП із ВЖД, який ґрунтується на поетапному аналізі та моделюванні технологічних операцій. Запропонована загальна структурна схема перероблення ВЖД охоплює всі основні технологічні ланки — від збирання матеріалу до формування готових плит, що дозволяє раціоналізувати виробничий процес і зменшити втрати матеріалу. Моделювання технологічних рішень довело ефективність поетапного підходу до перероблення ВЖД, особливо з урахуванням її різномірності, забруднення та пошкодження.

2. Обґрунтовано, що найбільш реальним і практично застосовним підходом до вирішення задачі сортування є аналіз (обсягів накопичення ВЖД для матеріального чи енергетичного використання, обсягів ВЖД за величиною забруднення (сортування за категоріями), обсягів ВЖД за розмірною придатністю (для одержання специфікаційних заготовок) та опис самої процедури прийняття поточних рішень про достатні обсяги ВЖД.

3. Запропоновано способи поверхневого очищення ВЖД, зокрема, механізований спосіб за допомогою голкофрезерного інструменту. Розроблено принципову схему моделювання процесу поверхневого очищення голкофрезами. Створення розмірно-придатних заготовок із ВЖД є

ключовим етапом, що забезпечує стабільну якість готової столярної продукції та підвищує ефективність використання вторинної сировини.

4. Розроблено типовий план цеху, у якому передбачено сортування ВЖД за чотирма категоріями, за видом матеріалу – масив, плита; видаленням металевих включень та інших забруднень. Основою цеху є верстати прохідного типу для здійснення операцій поверхневого позовжнього очищення. Зокрема, для ВЖД-I використовується чотирибічний шліфувальний, для ВЖД-II – двобічношліфувальний, для ВЖД-III – двобічний голкофрезерний, для ВЖД-IV – чотирибічний голкофрезерний. Таким чином, очищена за такими стадіями та рекомендаціями ВЖД є додатковою сировиною для виготовлення столярної плити та інших конструкційних матеріалів.

References

1. **Mamdani E.H.** (1974). Application of fuzzy algorithms for the control of a simple dynamic plant / E.H. Mamdani // Proc. IEEE 121, 1974. – P. 1585-1588.
2. **Matsyshyn Ya.** (2014). Using genetic fuzzy expert systems for decision support in the automated process of solid wood cutting / Ya. Matsyshyn, V. Mayevskyy, M. Mysyk // ProLigno : Scientific Journal. «TRANSILVANIA» din Brasov. – 2014. – Vol. 12. No.1. – P. 10-21.
3. **Koryachko V.A., Kushpit A.S., Kushpit O.M., Andrashek Yo.V.** (2016). The study of the blockboard shape stability depending on the design. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 42: 28-33.
4. **Ferents O.B.** (2006). *Rozrobyty naukovo obgruntovani normatyvy vytrat derevyiny u vyrobnytstvi stolyarno-budivelnykh vyrobiv* / [To develop science-based norms of wood consumption in the manufacture of joinery-building products / Report on research work]. – Lviv: UNFU, 2006. – 144 p. (in Ukrainian).
5. **Ferents O.B., Maksymiv V.M.** (2011). *Tekhnolohiya stolyarnykh vyrobiv* [Technology of joiner's products]. – Lviv: UNFU, 2011. – 400 p. (in Ukrainian).
6. **Gayda S.V.** (2007). Research of concentration of operations is in modern furniture Productions. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 33:73-79 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.36930/42073314>
7. **Gayda S.V.** (2013). Techniques for utilization of post-consumer wood in the production of fuel pellets and briquettes. Proceedings of the XXI International symposium Adhesives in Woodworking Industry (Slovakia, Zvolen June 23-26. 2013). TU Zvolen, 119-130.
8. **Gayda S.V.** (2013). Розроблення технології виробництва паливних гранул на основі енергетичного потенціалу ВЖД [Development of technology for the production of fuel pellets based on the energy potential of used wood]. *Scientific Bulletin of UNFU* 23.14:83-93. (in Ukrainian).
9. **Gayda S.V.** (2013). The technological solutions for recycling of post-consumer wood. Proceedings of I International Conference (Ukraine, 14-16 March 2013) UNFU: Lviv, 5-11.
10. **Gayda S.V.** (2013). The technologies and recommendations for the use of post-consumer wood in wood processing. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 39(1).48-67, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42133909>
11. **Gayda S.V.** (2013). Основи формування класифікатора вторинних деревинних ресурсів [Bases of secondary wood resources classifier formation]. *Scientific Works of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine* 11:208-215 (in Ukrainian). <https://fasu.nltu.edu.ua/index.php/nplanu/article/view/355>
12. **Gayda S.V.** (2014). *Teoreticheskoye obosnovaniye podkhoda po prognozirovaniyu prochnosti drevesnostruzhechnykh plit iz vtorichno ispol'zuyemoy drevesiny* [The theoretical rationale for the approach on the prediction the strength of particleboard from recycled wood]. *Actual problems* 38:212-216.
13. **Gayda S.V.** (2016). Ecological and technological aspects of recycling post-consumer wood for production compacted materials]. *Lesnoy vestnik / Forestry bulletin of MSFU* 20(3).15-22.
14. **Gayda S.V.** (2016). Технологічні підходи до поверхневого очищення ВЖД голкофрезерним інструментом [Technological approaches to cleaning of surface of post-consumer wood of needle-milling tools]. *Bulletin of KhNTUA* 178:3-11(in Ukrainian).
15. **Gayda S.V.** (2016). A investigation of form of stability of variously designed blockboards made of post-consumer wood // ProLigno: Scientific Journal. «TRANSILVANIA» din Brasov. 12(1).22-31.
16. **Gayda S.V.** (2016). Research on physical and mechanical characteristics of front blockboards made from post-consumer wood // *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*. 42:33-50. doi: <https://doi.org/10.36930/42164206>
17. **Gayda S.V.** (2017). A technology and properties of furniture board (FB) made of post-consumer wood (PCW). *Actual problems of forest complex* 48:34-38.
18. **Gayda S.V.** (2018). Strength of combined blockboard made of post-consumer wood (PCW). *Bulletin of KhNTUA* 197:3-9, (in Ukrainian).

19. Gayda S.V. (2017). Using fuzzy expert systems for decision support in the process of post-consumer wood sorting. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 43:5-20 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42174301>
20. Gayda S.V. (2018). A investigation and analysis of characteristics of solid furniture boards made of post-consumer wood. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 44:15-25 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42184402>.
21. Gayda S.V. (2019). Scientific and technical basis of the use of used wood in woodworking: thesis of the Doctor of Technical Sciences in the specialty 05.23. – Lviv: UNFU. – 465 (in Ukrainian).
22. Gayda S.V. (2023). State and analysis of the dynamics indicators of the production volume of the wood-working and furniture industry. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 49: 4-19 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42234901>
23. Gayda S.V. (2023). Determination of the circularity indicator in the forest sector according to the principles of the circular economy . *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 49: 99-114, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42234908>
24. Gayda S.V., Kiyko O.A. (2018). Shape stability as a quality criterion for PCW-made blockboards. *Scientific Works of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine* 17:185-192 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.15421/412135>
25. Gayda S.V., Kiyko O.A. (2020). Determining the regime parameters for the surface cleaning of post-consumer wood by a needle milling tool. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 [1 [107]], 89–97. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.212484>.
26. Gayda S.V., Kiyko O.A. (2020). The investigation of properties of blockboards made of post-consumer wood. *Poznan : Drewno*, 63 [206], 77-102. doi: <https://doi.org/10.12841/wood.1644-3985.352.10>.
27. Gayda S.V., Kiyko O.A. (2021). Properties of used wood as a determining factor in the quality of furniture products. *Scientific Works of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine* 23:152-162, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.15421/412135>
28. Gayda S.V., Kiyko O.A. (2023). Study of Physical and Mechanical Properties of Post-Consumer Wood of Different Age. *Drewno. Prace naukowe. Doniesienia. Komunikaty* 66 (212). 00010. <https://doi.org/10.53502/wood-177453>.
29. Gayda S.V., Kiyko O.A., Guz M.M. (2022). Research of the structure of stump and rootwood for effective use in the production of wood products. *Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry*, 2022, Vol. 64 (3), 131–142, doi: <https://doi.org/10.2478/ffp-2022-0011>
30. Gayda S.V., Kushpit A.S., Huber Yu.M. (2023). Analysis of implementation of Industry 4.0 principles in furniture production. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 49: 73-84, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42234906>
31. Gayda S.V., Lesiv L.E. (2023). Mathematical model of forecasting volumes of post-consumer wood production. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 49:33-47, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42234903>
32. Gayda S.V., Maksymiv V.M. (2007) Analysis, features, problems and experience of the use of additional resources of raw material – wastes and of used wood // *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 33:63-73. (in Ukrainian). <https://doi.org/10.36930/42073313>
33. Gayda S.V., Voytovych I.G. (2017). Durability and stability of elements for beam furniture products made from post-consumer wood are investigated. *Bulletin of KhNTUA* 189:62-70.
34. Gayda S.V., Voytovych I.G., Orikhovskyy R.Ya. (2020). Research of technological processes of production of legs of tables of various designs. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 46:36-49, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42204604>
35. Gayda, S., Dyak, T. (2011). The analysis of economic efficiency of post-consumer wood use for particleboard manufacture for LLC Swisspan Limited // *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 37.2:129-136. doi: <https://doi.org/10.36930/421137221>
36. Gayda, S.V. (2007). Проблема деревної сировини у Європі та Україні / *Problema derevnoyi syrovyny u Yevropi ta Ukrayini* [A problem of arboreal raw material is in Europe and Ukraine]. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 33:55-63 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.36930/42073312>
37. Grytsak S.A., Gayda S.V. (2020). Comparative analysis of physical and mechanical characteristics of bent elements from different tree species. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 46:16-27 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42204602>
38. Grytsak S.A., Gayda S.V., Kushpit A.S., Salapak L.V. (2023). Analysis of the efficiency of structural and technological solutions in the production of component units of lattice furniture products. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 49: 61-72, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42234905>
39. Hoffman, S.; Dotson, N.; Lima, V.; Gray, Ch. (2024). Hoffman et al., 2024_supplemental. figshare. Online resource. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.25122929.v2>

40. **Lesiv L.E.** (2022). Study of the characteristics of combined of blockboards made of post-consumer wood. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*. 48:69-86, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42214806>
41. **Medvid L.M.** (2021). Post-consumer wood – an additional reserve of raw materials for construction materials. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 47:34-46, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42214706>
42. **Medvid L.V.** (2018). Systematization of wood waste – the basis of their effective use // *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 44: 91-104, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42184412>
43. **Medvid L.V., Gayda S.V.** (2023). Determination of the strength indicators of normal blockboard made of post-consumer wood . *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 49: 85-98, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42234907>
44. **Murray A., Skene K., Haynes K.** (2017). The circular economy: an interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. *J. Bus. Ethics*, № 140(3). P. 369-380. <https://doi.org/10.1007/s10551-015-2693-2>.
45. **Podibka, T.I., & Kiyko, O.A.** (2019). A study of the influence of the transverse dimensions of beech of strips on the form of stability of furniture board. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 45, 155-171. <https://doi.org/10.36930/42194521> (in Ukrainian).
46. **Project «CircHive – Developing & piloting biodiversity footprinting & natural capital accounting via a 'beehive' of sectoral hubs, for sustainable transition to a circular EU bioeconomy».** Project Schedule: Start Date 01.12.2022 End Date 30.11.2027.
47. **Ratajczak, E.** (2003). *Zasoby odpadów drzewnych w Polsce / E. Ratajczak, A Szostak. Poznan: Czysa Energia, – Vol. 6. – P. 122-125.*
48. **Reike, D., & Vermeulen Walter, J.V.** (2018). The circular economy: New or Refurbished as CE 3.0? // *Resources, Conservation and Recycling*. P. 246-264.
49. **Shevchenko T. I., Shuptar-Porivayeva N. Y., Gubanova O. R. and others.** (2022). Циркулярна економіка [Circular economy]. Sumy: University book. – 220 p. (in Ukrainian).
50. **State Statistics Service of Ukraine.** <https://www.ukrstat.gov.ua>
51. **Suominen T., Kunttu J., Jasinevičius G., Tuomasjukka D. & Lindner M.** (2017). Trade-offs in sustainability impacts of introducing cascade use of wood, *Scandinavian Journal of Forest Research*,
52. **Titus, B.D., Brown, K., & Helmisaari, HS. et al.** (2021). Sustainable forest biomass: a review of current residue harvesting guidelines. *Energ Sustain Soc* 11, 10. <https://doi.org/10.1186/s13705-021-00281-w>.
53. **Tuomasjukka D., Athanassiadis D. & Vis M.** (2017). Threefold sustainability impact assessment method comparison for renewable energy value chains, *International Journal of Forest Engineering*, 28:2, 116-122, doi: <https://doi.org/10.1080/14942119.2017.1318549>.
54. **Werner F., Taverna R., Hofer P., Thürig E., Kaufmann E.** (2010). National and global greenhouse gas dynamics of different forest management and wood use scenarios: a model-based assessment. *Environ. Sci. Pol.*, <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2009.10.004>.
55. **Xu, X.; Lu, Y.; Vogel-Heuser, B.; Wang, L.** (2021). Industry 4.0 and Industry 5.0 – Inception, conception and perception. *J. Manuf. Syst.* 61:530-535. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.10.006>.
56. **Гайда С.В.** Аналіз динаміки показників основних конструкційних матеріалів в контексті циркулярної економіки. *Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть.* – 2024, вип. 50. – С. 29-40. doi: <https://doi.org/10.36930/42245003>
57. **Гайда С.В.** Аналіз тенденції основних показників деревозаготовчої галузі в контексті циркулярної економіки. *Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть.* – 2024, вип. 50. – С. 4-15. doi: <https://doi.org/10.36930/42245001>
58. **Гайда С.В.** Визначення характеристик СП із ВЖД: матеріали тез доповідей міжнародної НПК (05-06.06.2025 р.). – Харків : ДБТУ, 2025. – С. 118-120. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17079555>
59. **Гайда С.В.** Встановлення показника циркулярності в лісовому секторі: матеріали тез доповідей XIV МНПК (м. Чернігів, 23–24 травня 2024 р.). – Чернігів : НУ «ЧП», 2024. – Т.2. – С. 192-194.
60. **Гайда С.В.** Динаміка показників деревозаготовчої галузі в контексті циркулярної економіки. *Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть.* – 2025, вип. 51. – С. 4-16. doi: <https://doi.org/10.36930/42255101>
61. **Гайда С.В.** Основи створення гнучких виробничих систем. Гнучкі автоматизовані виробництва та робототехніка в деревообробці: Ч.1. – Львів: ЦНТЕІ, 1998. – 149 с.
62. **Гайда С.В.** Реалізація принципів циркулярної економіки в лісовому секторі: матеріали тез Н-ПК (24-25.05.2025 р.). – Харків : ДБТУ, 2025. – С. 110-112. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15849808>
63. **Гайда С.В.** Технології ВЖД як дієві механізми для реалізації принципів циркулярної економіки: матеріали тез доповідей НПК (05-06.06.2025 р.). – Харків : ДБТУ, 2025. – С. 137-139. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17079555>

64. Гайда С.В., Гузь М.М., Никитюк Л.О. Корневая древесина-источник дополнительного сырья для плитного производства. Матеріали НТК. Архангельск, (21-25.09.1992). ЦНИИМОД. – С. 88-89.
65. Гайда С.В., Кшивецький Б.Я. Оперативно-виробниче планування гнучких виробничих систем // Метод. вказівки. – Львів : ЦНТЕІ, 2000. – 29 с.
66. Гайда С.В., Кшивецький Б.Я. Проектування гнучких виробничих систем: Метод. вказівки. – Львів : ЦНТЕІ, 1998. – 34 с.
67. Гайда С.В., Лесів Л.Е. Міцність комбінованих СП із ВЖД ялиці: матеріали тез Н-ПК (24-25.05.2025 р.). – Харків : ДБТУ, 2025. – С. 128-130. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15849808>
68. Гайда С.В., Лесів Л.Е. Побудова моделі міцності зрощених заготовок із ВЖД ялиці: матеріали тез Н-ПК (7-8.10.2024 р.). – Харків : ДБТУ, 2024. – С. 187-189. <https://biotechuniv.edu.ua/wp-content/uploads/2024/12/conf-07-08-10-24-mater.pdf>
69. Гайда С.В., Лесів Л.Е. Порівняльний аналіз комбінованих СП із ВЖД: матеріали тез доповідей XIV МНПК (м. Чернігів, 23–24 травня 2024 р.). – Чернігів : НУ «ЧП», 2024. – Т.1. – С. 215-217.
70. Гайда С.В., Луценко А.О. Гнучкі деревообробні виробництва – база для реалізації та адаптації САД-систем на основі Imos для проектування виробів із деревини: матеріали тез Н-ПК (24-25.05.2025 р.). – Харків : ДБТУ, 2025. – С. 131-133. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15849808>
71. Гайда С.В., Медвідь Л.В. Дослідження міцності при статичному згині СП із ВЖД: матеріали тез Н-ПК (7-8.10.2024 р.). – Харків : ДБТУ, 2024. – С. 193-195. <https://biotechuniv.edu.ua/wp-content/uploads/2024/12/conf-07-08-10-24-mater.pdf>
72. Гайда С.В., Медвідь Л.В. Міцність звичайних СП із ВЖД: матеріали тез XIV МН-ПК (23–24.05.2024 р.). – Чернігів : НУ «ЧП», 2024. – Т.1. – С. 213-214.
73. Гайда С.В., Медвідь Л.В. Побудова математичної моделі міцності СП різних конструкцій із ВЖД. Наук. праці ЛАН України : зб. наук. праць. – 2024, вип. 27. – С. 180-189. <https://doi.org/10.15421/412426>
74. Гайда С.В., Медвідь Л.В. Технологія поверхневого очищення ВЖД голкофрезерним інструментом: матеріали тез доповідей НПК (м. Харків, 24-25.04.2025 р.). – Харків : ДБТУ, 2025. – С. 134-136. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15849808>
75. Гайда С.В., Подібка Т.І. Вплив товщини рейок на формостійкість меблевих щитів: Матеріали тез доповідей XV МНПК (м. Чернігів, 22-23.05.2025 р.). – Чернігів : НУ «ЧП», 2025. – Т.1. – С. 184-186. <https://conference-chnihiv-polytechnik.com/kzyatps-2025/>
76. Гайда С.В., Подібка Т.І. Забезпечення площинності меблевих щитів із бука європейського: матеріали тез доповідей НПК (м. Харків, 24-25.04.2025 р.). – Харків : ДБТУ, 2025. – С. 137-139. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15849808>
77. Гайда С.В., Подібка Т.І. Формостійкість меблевих щитів із сосни звичайної: матеріали тез доповідей XIV МНПК (м. Чернігів, 23–24 травня 2024 р.). – Чернігів : НУ «ЧП», 2024. – Т.1. – С. 211-212.
78. Гайда С.В., Удовийський О.М., Салабай Р.Г. Міцність столярно-будівельного погонажу із зрощених MDF-заготовок: Матеріали тез XV МН-ПК (22-23.05.2025 р.). – Чернігів : НУ «ЧП», 2025. – Т.2. – С. 150-151. <https://conference-chnihiv-polytechnik.com/kzyatps-2025/>
79. Гайда, С.В. Перспективи роботизації меблевої промисловості України. Обладнання та інструмент для професіоналів. – Харків: Graf-X. – 2003. – Вип. 11 – С. 36-37.
80. Гайда, С.В. Прогресивні плитні матеріали MDF та OSB. Обладнання та інструмент для професіоналів. – Харків: Graf-X. – 2004. – Вип. 1 – С. 30-32.
81. Гайда, С.В. Що нам важко стілець зробити? Обладнання та інструмент для професіоналів. – Харків: Graf-X. – 2004. – Вип. 3 – С. 44-52.
82. Грицак С.С., Грицак С.А., Гайда С.В. Встановлення залежності довжини бездефектної дуги деревини ясеня від змінних факторів гнуття: Матеріали тез XV МН-ПК (22-23.05.2025 р.). – Чернігів : НУ «ЧП», 2025. – Т.1. – С. 196-198. <https://conference-chnihiv-polytechnik.com/kzyatps-2025/>
83. Киянка В.В., Гайда С.В. Визначення динаміки утворення деревинних залишків та відходів виробничої діяльності на ТзОВ «Фортуна-меблі». Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть. – 2024, вип. 50. – С. 103-116. doi: <https://doi.org/10.36930/42245009>
84. Лесів Л.Е., Гайда С.В. Залежність міцності зрощених заготовок від характеристик зубчастого з'єднання: Матеріали тез XV МН-ПК (22-23.05.2025 р.). – Чернігів : НУ «ЧП», 2025. – Т.1. – С. 192-194. <https://conference-chnihiv-polytechnik.com/kzyatps-2025/>
85. Лесів Л.Е., Гайда С.В., Салапак Л.В. Розроблення математичної моделі міцності зрощених заготовок із ВЖД ялиці. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть. – 2024, вип. 50. – С. 16-28. doi: <https://doi.org/10.36930/42245002>
86. Луценко А.О., Гайда С.В., Кійко О.А. Адаптація програмного забезпечення для мобільних та гнучких меблевих виробництв: Матеріали тез XV МН-ПК (22-23.05.2025 р.). – Чернігів: НУ «ЧП», 2025. – Т.1. – С. 173-174. <https://conference-chnihiv-polytechnik.com/kzyatps-2025/>

- 87.Максимів В.М., Гайда С.В. Аналіз, особливості, проблеми та досвід використання додаткових ресурсів сировини – відходів та вживаної деревини. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть. – 2007, вип. 33. – С. 63-73. <https://doi.org/10.36930/42073313>
- 88.Медвідь Л.В., Гайда С.В. Математична модель формостійкості звичайних СП із ВЖД: Матеріали тез доповідей XV МНПК (м. Чернігів, 22-23.05.2025 р.). – Чернігів : НУ «ЧП», 2025. – Т.1. – С. 188-190. <https://conference-chernihiv-polytechnik.com/kzyatps-2025/>
- 89.Оріховський Р.Я., Гайда С.В. Оцінювання ефективності використання робочого часу в автоматизованих виробничих системах деревообробного виробництва. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть. – 2024, вип. 50. – С. 41-51. doi: <https://doi.org/10.36930/42245004>
- 90.Оріховський Р.Я., Гайда С.В., Грицак С.А., Салапак Л.В. Вибір послідовності продуктивностей верстатів в автоматизованих виробничих системах деревообробного виробництва. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть. – 2025, вип. 51. – С. 17-33. doi: <https://doi.org/10.36930/42255102>
- 91.Гайда С.В. Аналіз тенденцій обсягів виробництва конструкційних матеріалів в Україні та Європі. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть. – 2025, вип. 51. – С. 33-48. doi: <https://doi.org/10.36930/42255103>
- 92.Удовичий О.М., Гайда С.В. Салабай Р.Г. Некондиційна деревина у бетонних виробках: Матеріали тез XV МН-ПК (22-23.05.2025 р.). – Чернігів : НУ «ЧП», 2025. – Т.2. – С. 141-142. <https://conference-chernihiv-polytechnik.com/kzyatps-2025/>
- 93.Гайда С.В., Ференц О.Б. Порівняльний аналіз альтернативних технологій дерев'яного будинкобудування. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть. – 2025, вип. 51. – С. 49-63. doi: <https://doi.org/10.36930/42255104>
- 94.Гайда С.В. Матеріали для виготовлення виробів з деревини: Навч. пос. – Л.: ВМС, 2000. - 160 с.

UDC 674-419.33:674.8

Post-graduate student L.V. Medvid – UNFU

Creation of an algorithm for forming the stages of the technological process for manufacturing blanks for blockboards from post-consumer wood

The problem of rational use of post-consumer wood (PCW) is considered by creating an algorithm for forming the stages of the technological process for manufacturing blockboard of various designs, which is based on a phased analysis and modeling of technological operations. A general structural scheme for processing used wood is proposed, covering all the main technological links - from material collection to the formation of finished boards, which allows rationalizing the production process and reducing material losses. Modeling of technological solutions has proven the effectiveness of a phased approach to processing used wood, especially taking into account its heterogeneity, pollution and damage. It is substantiated that the most realistic and practically applicable approach to solving the sorting problem is the analysis (of the volumes of accumulation of waste wood for material or energy use), the volumes of waste wood by the amount of contamination (sorting by categories), the volumes of waste wood by dimensional suitability (to obtain specification blanks) and the description of the procedure for making current decisions about sufficient volumes of waste wood. Methods of surface cleaning of waste wood are proposed, in particular. a mechanized method using a needle milling tool. The production of dimensionally suitable blanks from used wood is a key stage that ensures stable quality of finished joinery products and increases the efficiency of using secondary raw materials. A typical workshop plan has been developed, which provides for sorting of waste wood by four categories, by type of material - solid wood, board; by removing metal inclusions and other contaminants. The basis of the workshop are through-type machines for performing surface longitudinal cleaning operations. In particular, for PCW-I, a four-sided grinding machine is used, for PCW-II – a two-sided grinding machine, for PCW-III – a two-sided needle milling machine, for PCW-IV – a four-sided needle milling machine. This approach helps to optimize production processes, increase the efficiency of material processing and reduce wood waste. PCW prepared according to such stages and recommendations is an additional raw material for the production of blockboard and other structural materials.

Keywords: post-consumer wood, blockboard, technological process, algorithm, wood processing, modeling, blanks, sorting, cutting, secondary raw materials.