

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

**ЛІСОВЕ ГОСПОДАРСТВО,
ЛІСОВА, ПАПЕРОВА
І ДЕРЕВООБРОБНА
ПРОМИСЛОВІСТЬ**

**Forestry, Forest, Paper
and Woodworking Industry**

МІЖВІДОМЧИЙ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЗБІРНИК

Виходить з 1964 р.

ВИПУСК 47

Львів – 2021

УДК 691.11. Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість : міжвідомчий науково-технічний збірник. – Львів: НЛТУ України. – 2021, вип. 47. – 120 с.

Підготовлено НЛТУ України та рекомендовано до друку Вченою Радою (протокол №11 від 28.12.21 р.).

У збірнику наукових праць «Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість» опубліковано результати наукових досліджень, в яких **висвітлено** наукові досягнення в царині лісівництва та лісознавства, лісової та паперової промисловості, їхні актуальні проблеми сьогодення, **наведено** результати досліджень у сфері екології, відтворення та покращення стану лісових ресурсів, захисту лісів, проблеми раціонального природокористування, **висвітлено** нові аспекти лісової інженерії, ресурсоощадних та екологічнобезпечних деревообробних та меблевих технологій. Науково-технічний збірник **призначений** для наукових працівників, викладачів закладів освіти, широкого кола фахівців у сфері деревообробних та меблевих технологій, лісівництва, економіки галузі та екології лісу, лісової інженерії та лісопромислового комплексу.

Адреса НЛТУ України: 79057, м. Львів-57, вул. Ген. Чупринки, 103

Адреса редакції: 79057, м. Львів-57, вул. Залізняка, 11

тел. : (032) 238-44-96, 238-45-04; моб. : 067-79-12-522; факс : (032) 238-44-96

e-mail: serhiy.hayda@nltu.edu.ua ; volodymyr_mayevskyy@nltu.edu.ua

<http://forest-woodworking.nltu.edu.ua/index.php/journal>

Голова редакційної колегії : В.О. Масєвський, д.т.н., проф.

Заступники голови редакційної колегії :

В.В. Лавний, д.с.-г.н., проф., С.В. Гайда, д.т.н., проф.

Склад редколегії : В.М. Атаманюк, д.т.н., проф., Б.Я. Бакай, к.т.н., доц., П.А. Бехта, д.т.н., проф., С.А. Гаврилюк, к.с.-г.н., доц., Я.В. Геник, д.с.-г.н., проф., І.Г. Грабар, д.т.н., проф., І.І. Делеган, к.с.-г.н., доц., С.В. Зібцев, д.с.-г.н., проф., О.В. Мокрицька, к.т.н., доц., О.А. Кійко, д.т.н., проф., В.В. Ковальова, к.б.н., доц., Р.О. Козак, д.т.н., проф., М.М. Король, к.с.-г.н., доц., Л.І. Копій, д.с.-г.н., проф., Г.Т. Криницький, д.б.н., проф., І.М. Крошній, к.т.н., доц., В.В. Куриляк, к.с.-г.н., доц., Б.Я. Кшивецький, д.т.н., проф., І.П. Мацяк, д.б.н., асист., С.І. Миклуш, д.с.-г.н., проф., Г.Є. Ортинська, к.т.н., доц., Л.С. Осадчук, д.с.-г.н., проф., О.О. Пінчевська, д.т.н., проф., Б.П. Поберейко, д.т.н., проф., І.М. Сопушинський, д.с.-г.н., проф., Ю.В. Цапко, д.т.н., проф., О.Г. Часковський, к.с.-г.н., доц., Л.А. Яремчук, д.т.н., проф., Ян Сідлячік, д.габ., проф., (Словаччина), Александер Пфрім, д.габ., проф., (Німеччина), Томаш Криштофіяк, д.габ., проф., (Польща), Петер Шпатгельф, д.габ., проф., (Німеччина), Єва Ратайчак, д.габ., проф., (Польща), Лілія Хогабом, д.габ., проф., (США), Ервін Гуссендюрфер, д.габ., проф., (Німеччина).

Відповідальний секретар : С.В. Гайда, д.т.н., проф.

Технічні секретарі : О.Л. Сторожук, к.т.н., доц., А.С. Кушпіт, к.т.н., доц.

Технічний редактор : Р.Б. Щупаківський, к.т.н., доц.

Літературний редактор : В.В. Дудок

Англомовний редактор : В.В. Лентяков

© Національний лісотехнічний університет України, 2021

ЗМІСТ

1. WOODWORKING INDUSTRY // ДЕРЕВООБРОБНА ПРОМИСЛОВІСТЬ	5
<i>С.В. Гайда, І.В. Петришак, Ж.Я. Гуменюк // S.V. Gayda, I.V. Petryshak, Zh.Ya. Humeniuk</i> ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ПОРОДИ ТА РЕЖИМІВ ШЛІФУВАННЯ НА ШОРСТКІСТЬ ПОВЕРХНІ ДЕРЕВИНИ // Determination of the influence of rock and grinding modes on the surface roughness of wood	5
<i>Р.Я. Оріховський // R.Ya. Orikhovskyy</i> ОЦІНЮВАННЯ ВТРАТ РОБОЧОГО ЧАСУ У ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМАХ І СТАБІЛЬНОСТІ РОБОТИ АВТОМАТИЧНИХ ЛІНІЙ У ГАЛУЗІ ДЕРЕВООБРОБЦІ // The estimation of losses of working time in production systems and work stability of automatic lines in the field of woodworking	16
<i>С.В. Гайда, М.М. Ільків, Д.Б. Савка // S.V. Gayda, M.M. Ilkiv, D.B. Savka</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИГОТОВЛЕННЯ МЕБЛЕВИХ ФАСАДІВ З МАСИВНОЇ ДЕРЕВИНИ // Research of technological processes of manufacture of meble facades from solid wood	22
<i>Л.В. Медвідь // L.M. Medvid</i> ВЖИВАНА ДЕРЕВИНА – ДОДАТКОВИЙ РЕЗЕРВ СИРОВИНИ ДЛЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ // Post-consumer wood – an additional reserve of raw materials for construction materials	34
<i>М.І. Пилипчук, В.І. Тарас, М.Р. Бурдяк, В.Т. Жмудик // M.I. Pylypchuk, V.I. Taras, M.R. Burdyak, V.T. Zhmudyk</i> ЗАКОНОМІРНІСТЬ ЗМІНИ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ТОЧНОСТІ ДЕРЕВООБРОБНИХ ВЕРСТАТІВ УПРОДОВЖ МІЖРЕМОНТНОГО ПЕРІОДУ РОБОТИ // Patterns of change in technological accuracy of woodworking machines during overhaul period	47
<i>С.В. Гайда, Л.В. Салапак, Л.Е. Лесів // S.V. Gayda, L.V. Salapak, L.E. Lesiv</i> ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ РІЗНИХ ОПОРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПЛОЩИН // Determination of an efficient technological process of manufacturing various support elements for functional surfaces	58
<i>Т.І. Подібка // T.I. Podibka</i> РОЗРОБЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗУВАННЯ ФОРМОСТІЙКОСТІ МЕБЛЕВИХ ЩИТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ // Development of mathematical models for predicting dimensional stability of furniture boards using the finite element method	73

2. ЛІСОВЕ ГОСПОДАРСТВО // FORESTRY	
В.В. Лавний, Р.М. Кравчук, Р.Р. Вицеза, П. Шпатгельф // <i>V.V. Lavnyy, R.M. Kravchuk, R.R. Vytseha, P. Spathelf</i> ВИДОВИЙ СКЛАД І ВИСОТНА СТРУКТУРА ПІДРОСТУ ДЕРЕВНИХ ВИДІВ В УМОВАХ СВІЖОЇ ГРАБОВО-СОСНОВОЇ СУДІБРОВИ УКРАЇНСЬКОГО РОЗТОЧЧЯ // <i>Tree species composition and height structure of undergrowth in fresh hornbeam-oak-pine forest on relatively rich soils of the Ukrainian Roztochia</i>	92
І.Д. Іванюк, Я.Д. Фучило, Т.М. Іванюк // <i>I.D. Ivaniuk, Ya.D. Fuchylo, T.M. Ivaniuk</i> СУКЦЕСІЙНІ ПРОЦЕСИ У ЖИВОМУ НАДГРУНТОВОМУ ПОК-РИВІ НЕЗІМКНУТИХ ЛІСОВИХ КУЛЬТУР ДУБА ЗВИЧАЙНОГО В УМОВАХ ВОЛОГИХ СУГРУДІВ ЖИТОМИРСЬКОГО ПОЛІССЯ // <i>Succession processes in the living surface cover of unclosed forest cultures of quercus robur l. in wet loam conditions of Zhytomyr Polissya</i>	109

УДК 684.4.057 Проф. С.В.Гайда¹, д-р техн. наук; доц. І.В.Петришак², канд. техн. наук, асист. Ж.Я.Гуменюк³ – НЛТУ України, doi: <https://doi.org/10.36930/42214701>

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ПОРОДИ ТА РЕЖИМІВ ШЛІФУВАННЯ НА ШОРСТКІСТЬ ПОВЕРХНІ ДЕРЕВИНИ

Досліджено, що порода деревини також впливає на величину нерівностей поверхні, яка обробляється, а саме величина шорсткості обробленої поверхні обернено-пропорційна густині оброблюваного матеріалу. Отримано регресійні моделі, що характеризують шорсткість поверхні деревини дуба та ялини залежно від швидкості різання та питомого тиску притискання. Встановлено, що швидкість різання позитивно впливає на величину шорсткості обробленої поверхні. Це пов'язано з тим, що при великих швидкостях різання волокна деревини (особливо це актуально для твердих порід, що мають більшу густину) проявляють належний підпір різцю та не встигають надламатися під його тиском, а перерізаються різцем раніше, ніж зруйнується їх зв'язок з сусідніми волокнами. Отже, чистота обробленої поверхні буде кращою. Встановлено, що зі збільшенням швидкості різання від 10 до 30 м/с шліфувальною шкуркою поверхні деревини дуба шорсткість поверхні зменшується на 40-60 %, а ялини – на 44-86 %. У ялини динаміка шорсткості на 10-20 % більше, ніж у дуба. З'ясовано, що зі збільшенням питомого тиску притискання деталі до шліфувальної шкурки на поверхні деревини дуба збільшується шорсткість поверхні на 20-30 %, а поверхні деревини ялини – на 12-32 %. У ялини погіршення шорсткості на 12-13 % більше, ніж у дуба. Встановлено, що зі збільшенням швидкості подачі на поверхні деревини дуба збільшується шорсткість поверхні на 21-30 %, у ялини – на 13,63-23,46 %. У ялини погіршення шорсткості на 9-13 % більше, ніж у дуба. Для здійснення ефективного шліфування з отриманням якісної поверхні рекомендуються такі вхідні величини обробки: швидкість різання 20-30 м/с; швидкість подачі 6-8 м/хв; питоме зусилля притискання 2,2-4,4 кПа; зернистість шкур: P180-P150; P120-P100; P90-P60.

Ключові слова: технологія, шорсткість, шліфування, дуб, ялина, швидкість різання, зусилля прижимання, швидкість подачі.

Актуальність. Сьогоднішні меблеві вироби – це високоякісні та конкурентноспроможні меблі, які чекають на свого покупця у якісному виготовленні із сучасних матеріалів та комплектуючих. Якісне опорядження перш за все гарантоване на якісно підготовленій поверхні, зокрема шліфованій. Тому актуальним постає питання ефективного шліфування при раціональних режимах роботи відповідного обладнання. Дослідження впливу породи деревини на показники процесу шліфування є актуальним і сьогодні. Багато вчених приділяли питанням шліфування різних матеріалів та порід. Але це настільки широка тематика, що дослі-

¹ Гайда Сергій Володимирович – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, доктор технічних наук, професор кафедри технологій меблів та виробів з деревини. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: 032-238-45-04, +38-067-791-25-22. E-mail: serhiy.hayda@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7468-5661> ResearcherID: ABB-1636-2021 Scopus/authorID=57221587964

² Петришак Ігор Васильович, канд. техн. наук, доцент, кафедра технологій захисту навколишнього середовища, деревини, безпеки життєдіяльності. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-098-487-16-27. Email: borason@ukr.net

³ Гуменюк Жанна Ярославівна – асистент кафедри технологій захисту навколишнього середовища і деревини, безпеки життєдіяльності та соціальних комунікацій. Національний лісотехнічний університет України, вул. генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-097-478-44-07. E-mail: zhanna.humenyuk@nltu.edu.ua ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9453-5812>

джень в цьому напрямку було багато і ще буде не мало. Практична значимість досліджень – режимні параметри якісного шліфування для різних технологій деревообробки [24-27].

Проблема, яка вирішувалась – це створення рекомендацій щодо раціонального підбору режимів шліфування для різних порід деревини.

Мета – дослідження впливу породи деревини на показники якості поверхні в процесу шліфування. **Об'єкт досліджень** – процеси шліфування поверхонь деревини різних порід. **Предмет досліджень** – дослідити вплив породи та складових режиму шліфування на шорсткість поверхні деревини дуба та ялини.

Аналіз літературних джерел. Підвищені вимоги до точності обробки деталей, якості обробки поверхні і, в цілому, до надійності і довговічності роботи готових виробів призвело до значного розвитку технології абразивної обробки. Прогрес в технології переробки деревини і деревинних матеріалів у вироби висуває все нові проблеми застосування абразивної обробки не тільки для кінцевої механічної обробки деталей з метою підготовки поверхонь до наступної технологічної операції опорядження, але й для процесів вирівнювання великих поверхонь плит до наступної технологічної операції личкування, калібрування розмірів деталей із зняттям припуску, формування розмірів деталей, що мають криволінійні профільні поверхні, поділ плитних матеріалів на заготовки, подрібнення деревини на волокно тощо. А сьогодні, як ніколи, актуальним є очищення вживаної деревини голкофрезами та щітковим інструментом, що зазначено в працях вченого Гайди С.В. [4-14, 28-42]. Шліфування, як технологічна операція, в переважній більшості є завершуючим етапом механічної обробки деталей при виготовленні меблів та інших виробів з деревини і деревинних матеріалів, хоча в ряді випадків деталей після шліфування піддається опорядженню. Обробка деревини деревинних матеріалів абразивами може здійснюватися шліфуванням, зачищенням, вигладжуванням, вирівнюванням і поліруванням поверхонь, формуванням розмірів деталей із зняттям припуску, діленням на частини і подрібненням на волокно [20, 24].

Шліфування і зачищення, як технологічні операції, є завершальним етапом механічної обробки деталей. Завершуючи механічну обробку, шліфування і зачищення покликані забезпечити високу якість обробленої поверхні. Деталі, що пройшли механічну обробку на стругальних і фрезерних верстатах, можуть мати на своїх поверхнях місцеві виколи, вм'ятини, ворсистість і моховитість, які не допускаються у виробках. В ряді випадків для забезпечення рівномірного клейового шару отримання рівних личкованих поверхонь застосовують попереднє шліфування абразивними інструментами з грубозернистого абразиву. В усіх цих випадках основною метою шліфування, зачищення і вигладжування є отримання потрібної шорсткості поверхні без суттєвої зміни форми і розмірів деталей. Повне площинне вирівнювання при цьому не досягається.

Питанню шліфування деревини і деревинних матеріалів шліфувальною шкуркою присвячено ряд дослідних робіт авторів А.А. Береніс [1], Я.П. Бугаєнко [2], Б.М. Буглай [3], С.В. Гайда [14], О.А. Кійко [15-17], І.В. Петришак [14, 18-20], Ю.П. Попов [22], Б.Н. Рудаков [23] та інші. Ці роботи були спрямовані на пошук оптимальних режимів шліфування різних матеріалів на різних типах верстатів. В основному досліджувались вплив породи матеріалу, що шліфується, матеріалу абразиву та його зернистості, питомого зусилля притискання, швидкостей

різання та подачі, різних технічних характеристик шліфувальних шкурок на якість поверхні, питому продуктивність, стійкість інструменту та інші показники.

Якість шліфованої поверхні визначаються в основному висотою нерівностей та точністю обробки. Дослідженню впливу різних факторів на якість шліфованої поверхні приділено багато уваги. На шорсткість обробленої поверхні впливає тип верстата [2, 3, 16, 19] та інші. Автори констатують, що величина шорсткості при шліфуванні на стрічковому верстаті в 1,5...2,0 рази менша, ніж при шліфуванні на циліндровому верстаті. В той же час матеріал абразиву суттєво впливає на якість обробки. Щодо швидкості різання на величину шорсткості обробленої поверхні, слідників були різні думки. Вперше про позитивний вплив швидкості різання на чистоту обробки вказав вчений Б.Н. Рудаков. Він встановив, що різець, заглиблюючись в деякий об'єм волокон деревини намагається потягнути їх за собою і цим самим надати їм в поєднанні зі знятим елементом свою швидкість. В свою чергу цьому запобігають не тільки сили зчеплення між частинами деревини, але і сили інерції, які пропорційні квадрату швидкості і, як результат, чим більша швидкість, тим більші сили інерції, а разом з ним зсув матеріалу з місця. Таким чином, із збільшенням швидкості різання до природного підпору, що є в оброблюванім матеріалі, з'являється додатковий підпір. Тобто при малих швидкостях різання, волокна деревини можуть бути надломлені або сколоті в слабких місцях різцем поза наявною площиною обробки, в результаті чого чистота поверхні буде гіршою. При великих швидкостях різання волокна деревини проявляють належний підпір різцю, не встигають надламатися під його тиском, а перерізаються різцем раніше, ніж зруйнується їх зв'язок з сусідніми волокнами. Отже, чистота обробленої поверхні буде кращою. Існує думка, що з підвищенням швидкості різання зростає швидкість деформації деревини довкола різця і зменшується релаксація деревини. Пластичні деформації не встигають розвинутиися і руйнування деревини, головним за рахунок пружних деформацій. Величина пружних деформацій менша ніж сума пластичних і пружних. Таким чином, чим менші величини деформацій деревини в процесі різання, тим краща чистота обробки. До такого висновку прийшов О.А. Кійко. Аналізуючи результати аналітичних і експериментальних досліджень різних авторів приходимо до висновку, що швидкість різання має позитивний вплив на чистоту обробки деревини.

Вплив питомого зусилля притискання шкурки до оброблюваної поверхні на шорсткість поверхні вивчалась багато Ю.П. Попов. Інші вчені вказують, що зі збільшенням питомого зусилля притискання шкурки до оброблюваного матеріалу шорсткість зростає. Природно, що з ростом питомого зусилля притискання шкурки глибина проникнення активно працюючих зерен в деревину знімається зерном, яка отже збільшує товщину стружки, шорсткість обробленої поверхні повинна збільшуватись. При цьому зростання висоти нерівності обробленої поверхні знаходиться в прямій залежності від збільшення питомого зусилля притискання.

Вивчаючи вплив різних технічних характеристик шліфувальних шкурок на чистоту обробки, Я.П. Бугаєнко приходять до висновку, що форма абразивних зерен, їх орієнтація на основі та щільність насипання не впливають на чистоту поверхні. Кількість зв'язки також не впливає на чистоту обробки.

Зміна висоти нерівності обробленої поверхні з часом роботи шкурки вивчалися багатьма дослідниками Б.М. Буглай, Б.Н. Рудаков, Ю.П. Попов та інші. Ни-

ми встановлено, що з часом роботи шкурки чистота поверхні поступово зменшується. Типова залежність зміни висоти нерівностей обробленої поверхні з часом роботи шкурки наведена на літературі. Існує думка, що швидкість подачі певною мірою впливає на чистоту обробки. Із збільшенням швидкості подачі висота нерівностей зростає. Адже, при збільшенні швидкості подачі збільшується товщина стружки, яка знімається одним активнодіючим зерном.

Завдання досліджень:

1. Провести експериментальні дослідження впливу породи та складових режиму шліфування на шорсткість поверхні деревини на прикладі дуба та ялини.
2. Розробити регресійні моделі вивчення впливу породи деревини на шорсткість шліфованої поверхні прийнятих для досліджування деревини дуба та ялини залежно від швидкості різання та питомого зусилля прижимання.
3. Отримати залежності впливу породи деревини на шорсткість шліфованої поверхні деревини дуба та ялини залежно від швидкості різання, від питомого тиску притискання, від швидкості подачі.
4. Створити практичні рекомендації щодо раціонального підбору режимів шліфування для різних порід деревини з метою одержання відповідних параметрів шорсткості поверхні.

Матеріали, устаткування та методи досліджень. Для здійснення досліджень впливу породи деревини на показники процесу шліфування нами було вибрано дві породи деревини: Твердолистяна порода дуб, як найбільш поширена та ефективно використовується у виробництві меблів елітних конструкцій. Шпилькова порода ялина, що масово проростає в Україні та широко використовується деревообробними та меблевими підприємствами для виготовлення виробів з деревини. З даних порід були нарізані взірці для здійснення випробувань. Розмір взірців кожної породи становив та мав такі габарити : 300 x 50 x 20 мм; 400 x 30 x 20 мм; 300 x 20 x 20 мм. Взірці розпилювались на багатопилковому верстаті, а торцювались на звичайній торцювальній установці – радіальній пилі. Частина взірців проходили чотирибічне фрезерування (це 70 %), інші не були фрезеровані.

Експериментальні дослідження зі шліфування проводили на двох верстатах: Крайко-шліфувальному верстаті моделі GL-150 з регульованою швидкістю різання та який укомплектований автоматичним подавальним та прижимним пристроєм; Калібрувально-шліфувальному верстаті моделі Nice-650 з регульованою швидкістю різання та подачі. Атестацію підібраних та шліфованих зразків за шорсткістю поверхні виконувати, користуючись приладами МІС-11, ТСП-4 та індикаторним глибиноміром. Шорсткість поверхні зразків-еталонів відповідала середині інтервалу даного класу шорсткості.

Змінні та постійні фактори для проведення досліджень впливу породи деревини на основні показники процесу якості поверхні. Породи для досліджень для проведення досліджень впливу породи деревини на основні показники процесу машинного шліфування поверхонь під опорядження : дуб, ялина. Шліфувальна шкурка на тканинній основі з абразивом з кремнію для проведення досліджень впливу породи деревини на основні показники процесу машинного шліфування поверхонь під опорядження з умов якісної обробки, тобто забезпечення показника шорсткості не більше 16 мкм. Вихідний показник процесу шліфування – висота нерівностей профілю поверхонь, R_m , мкм. Вхідні змінні фактори (показники) процесу шліфування поверхонь деревини під час досліджень впливу породи деревини на основні показники процесу машинного шліфування поверхонь під опорядження: швидкість різання, u , м/с (10-20-30); питоме зусилля притискання P ,

кПа (2,2-4,4-6,6)); Зернистість шкурок в старому та новому маркуванні: (6-Н : 8-Н) = Р180 : Р150; (10-Н : 12-Н) = Р120 : Р100; (16-Н : 25-Н) = Р90 : Р60.

Методи та методична сітка проведення досліджень. Для кожної породи була реалізована Матриця В-плану для двох змінних факторів для проведення досліджень впливу породи деревини на основні показники процесу машинного шліфування поверхонь під опорядження з умов якісної обробки, тобто забезпечення показника шорсткості не більше 16 мкм. (табл. 1.). Для побудови регресійних моделей була використана традиційна методика, що описана та детально представлена в книжках А.А. Піжуріна «Дослідження процесів деревообробки».

Таблиця 1. Матриця В-плану для двох змінних факторів

№ досліджу		Значення вхідних факторів у досліді			
		У натуральному позначенні		У кодованому позначенні	
		V	P	x1	x2
ПФП 2	1	10	2,2	-1	-1
	2	30	2,2	1	-1
	3	10	6,6	-1	1
	4	30	6,6	1	1
Зіркові точки	5	10	4,4	-1	0
	6	30	4,4	1	0
	7	20	2,2	0	-1
	8	20	6,6	0	1

Методика дослідження шорсткості поверхні залежно від швидкості різання. Для кожної породи був проведений експеримент впливу породи деревини на параметр шорсткості поверхні R_m , мкм при зміні швидкості різанні шліфувальною шкуркою, V , в діапазоні 10-20-30 м/с. **Вхідні постійні фактори** для проведення досліджень впливу породи деревини на основні показники процесу машинного шліфування поверхонь під опорядження були: Питоме зусилля притискання, $P = 4,4$ кПа; Швидкість подачі, $V_s = 8$ м/хв.

Методика дослідження шорсткості поверхні залежно від питомого тиску притискання. Для кожної породи був проведений експеримент впливу породи деревини на параметр шорсткості поверхні R_m , мкм при питомого тиску притискання P , в діапазоні 2,2-4,4-6,6 кПа.

Вхідні постійні фактори для проведення досліджень впливу породи деревини на основні показники процесу машинного шліфування поверхонь були: швидкість різання, $V = 20$ м/с; швидкість подачі, $V_s = 8$ м/хв.

Методика дослідження шорсткості поверхні залежно від швидкості подачі. Для кожної породи був проведений експеримент впливу породи деревини на параметр шорсткості поверхні R_m , мкм при зміні швидкості подачі, V_s , в діапазоні 6-8-10 м/хв.

Вхідні постійні фактори для проведення досліджень впливу породи деревини на основні показники процесу машинного шліфування поверхонь були: Питоме зусилля притискання, $P = 4,4$ кПа; Швидкість різання, $V = 20$ м/с.

Результати експериментальних досліджень. Отримані результати експериментальних досліджень вивчення впливу породи деревини на шорсткість шліфованої поверхні прийнятих для досліджування деревини дуба для двох змінних факторів швидкості різання та питомого тиску притискання наведено у табл. 2.

Виконавши статистичну обробку та розрахувавши коефіцієнти рівняння регресії за результатами реалізації В-плану другого порядку для двох змінних, було отримано регресійну модель, що характеризує *шорсткість поверхні деревини дуба* від швидкості різання та питомого тиску притискання :

$$y = 16,249 - 3,618x_1 + 2,733x_2 + 0,926x_1^2 + 0,782x_2^2 - 1,130x_1x_2.$$

Бачимо, вплив першого фактору (швидкості різання) є більшим, а знак мінус зазначає, що при збільшенні швидкості різання шорсткість поверхні зменшується. Отримані результати експериментальних досліджень вивчення впливу породи деревини на шорсткість шліфованої поверхні для двох змінних факторів швидкості різання та питомого тиску притискання наведено у табл. 3.

Таблиця 2. Результати експериментальних досліджень деревини дуба

№	Результати y_{ij} висот нерівностей, мкм					Значення в j-ій вибірці	Дисперсія в j-ій вибірці	Значення критерію Стьюдента
	y_{1j}	y_{2j}	y_{3j}	y_{4j}	y_{5j}			
1	17,930	17,840	18,100	17,550	17,880	17,860	0,0399	0,10
2	12,630	12,550	12,840	12,110	12,900	12,606	0,0977	0,08
3	25,710	25,620	25,770	24,950	25,790	25,568	0,1237	0,40
4	15,940	15,780	16,040	15,560	15,650	15,794	0,0394	0,73
5	20,640	20,430	20,970	20,050	20,490	20,516	0,1117	0,08
6	13,820	13,670	14,020	13,550	14,110	13,834	0,0546	1,22
7	14,330	14,220	14,310	14,100	14,440	14,280	0,0163	0,47
8	19,810	19,630	20,050	19,900	19,520	19,782	0,0446	0,72
Сума						140,24	0,5278	3,79

Таблиця 3. Результати експериментальних досліджень деревини ялини

№	Результати y_{ij} висот нерівностей, мкм					Значення в j-ій вибірці	Дисперсія в j-ій вибірці	Значення критерію Стьюдента
	y_{1j}	y_{2j}	y_{3j}	y_{4j}	y_{5j}			
1	21,320	21,070	20,950	20,780	21,660	21,156	0,1180	0,25
2	14,650	14,790	14,230	14,550	14,880	14,620	0,0636	0,12
3	31,470	30,990	31,470	31,030	31,730	31,338	0,1011	0,42
4	16,850	16,770	16,980	16,830	16,850	16,856	0,0059	0,08
5	25,710	25,850	25,740	25,220	26,010	25,706	0,0876	1,03
6	15,110	15,100	15,150	15,640	15,220	15,244	0,0512	1,75
7	16,150	16,450	16,540	16,710	16,430	16,456	0,0415	0,03
8	22,340	22,450	22,110	22,340	22,380	22,324	0,0163	0,99
Сума	0,5062					163,70	0,4853	4,65

Виконавши статистичну обробку та розрахувавши коефіцієнти рівняння регресії за результатами реалізації В-плану другого порядку для двох змінних, було отримано регресійну модель, що характеризує *шорсткість поверхні деревини ялини* від швидкості різання та питомого тиску притискання:

$$y = 18,873 - 5,247x_1 + 3,048x_2 + 1,602x_1^2 + 0,517x_2^2 - 1,987x_1x_2.$$

Бачимо, вплив першого фактору (швидкості різання) є більшим, а знак мінус зазначає, що при збільшенні швидкості різання шорсткість поверхні зменшується. Вплив швидкості різання шліфувальною шкуркою на шорсткість шліфованої *поверхні деревини дуба та ялини* представлено на рис. 1. Графічна інтерпретація залежностей свідчить, що зі збільшенням швидкості різання шліфувальною шкуркою *поверхні деревини дуба* зменшується шорсткість поверхні на 40-60 %, а *в ялини* зменшується на 44-86 %.

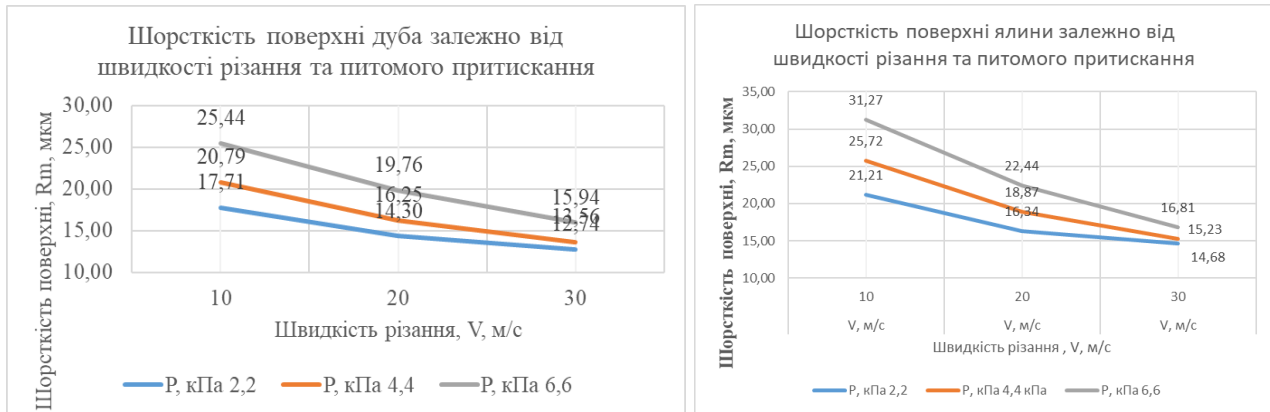


Рис. 1. Залежність шорсткості поверхні від швидкості різання

Порівняльний вплив швидкості різання шліфувальною шкуркою на шорсткість шліфованої **поверхні деревини дуба та ялини** представлено на рис. 2.

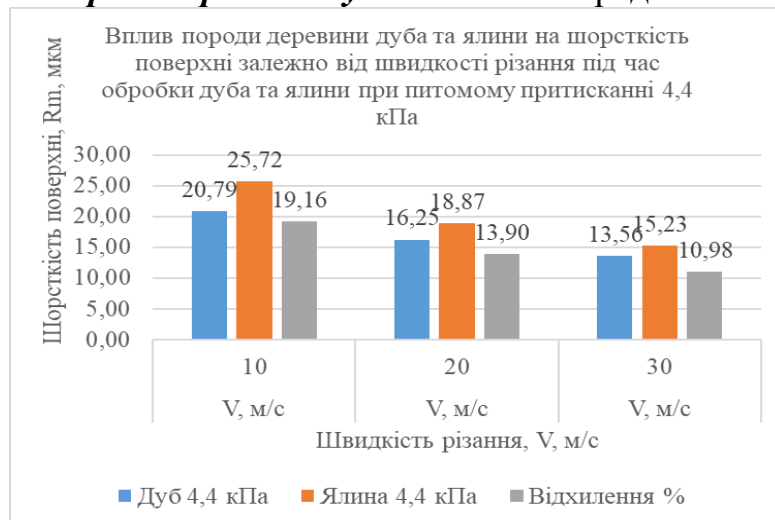


Рис. 2. Порівняння шорсткості поверхні дуба та ялини від швидкості різання

Графічна інтерпретація порівняльних залежностей шорсткості поверхні від швидкості різання шліфувальною шкуркою **поверхні деревини дуба та ялини** свідчить, що якість поверхні деревини ялини гірша на 19,16 % при швидкості різання 10 м/с, і на 10,98 % при швидкості різання 30 м/с. Вплив питомого тиску притискання деталі до шліфувальної шкурки на шорсткість шліфованої **поверхні деревини дуба та ялини** представлено на рис. 3.



Рис. 3. Залежність шорсткості поверхні від зусилля притискання

Графічна інтерпретація залежностей свідчить, що зі збільшенням питомого тиску притискання деталі до шліфувальної шкурки **поверхні деревини дуба** збільшується шорсткість поверхні на 20-30 %, а **ялини** – на 12-32 %. Порівняльний вплив питомого тиску притискання деталі до шліфувальної шкурки на шорсткість **поверхні деревини дуба та ялини** представлено на рис. 4. Графічна інтерпретація порівняльних залежностей шорсткості поверхні від питомого тиску притискання деталі до шліфувальної шкурки **поверхні деревини дуба та ялини** свідчить, що

якість поверхні деревини ялини гірша, тобто шорсткість вища на 12,51 % при питомому тиску притискання деталі до шліфувальної шкурки 2,2 кПа, і на 11,92 % при питомому тиску притискання деталі до шліфувальної шкурки 6,6 кПа.

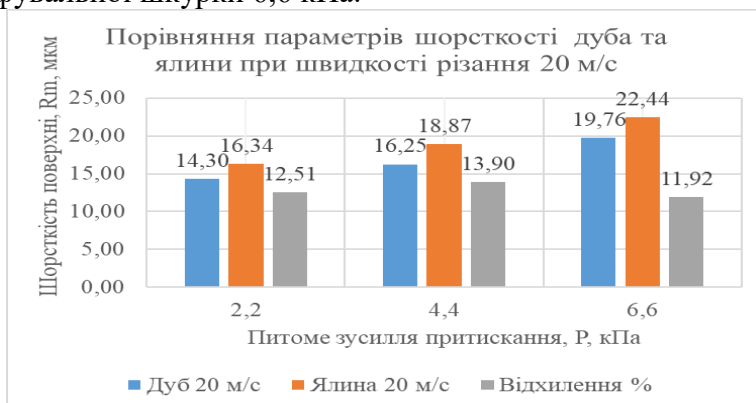


Рис. 4. Порівняння шорсткості поверхні дуба та ялини від притискання

Вплив швидкості подачі на шорсткість шліфованої *поверхні деревини дуба* та ялини представлено на рис. 5.

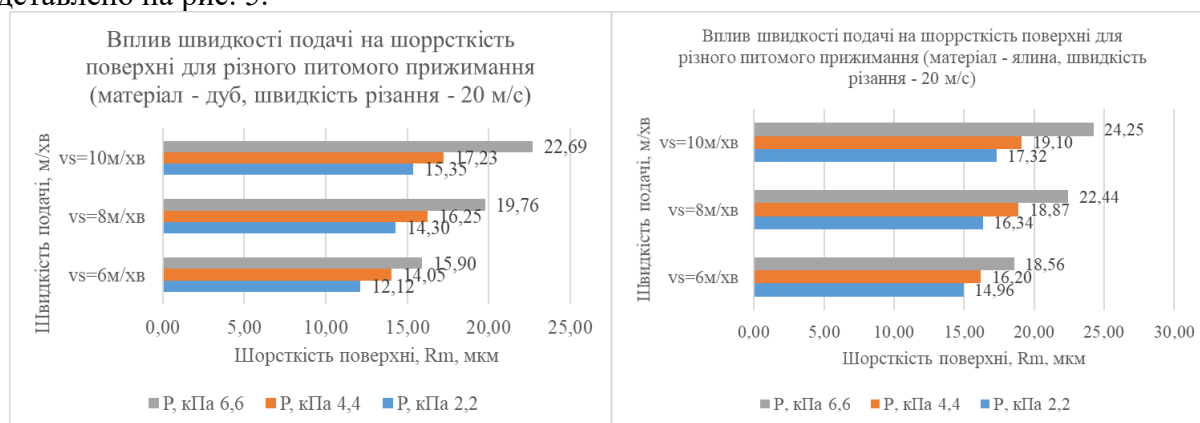


Рис. 5. Залежність шорсткості поверхні від швидкості подачі

Графічна інтерпретація залежностей свідчить, що зі збільшенням швидкості подачі на *поверхні деревини дуба* збільшується шорсткість поверхні на 21-30 %, а ялини – на 13,63-23,46 %. Порівняльний вплив швидкості подачі на шорсткість шліфованої *поверхні деревини дуба та ялини* представлено на рис. 6.

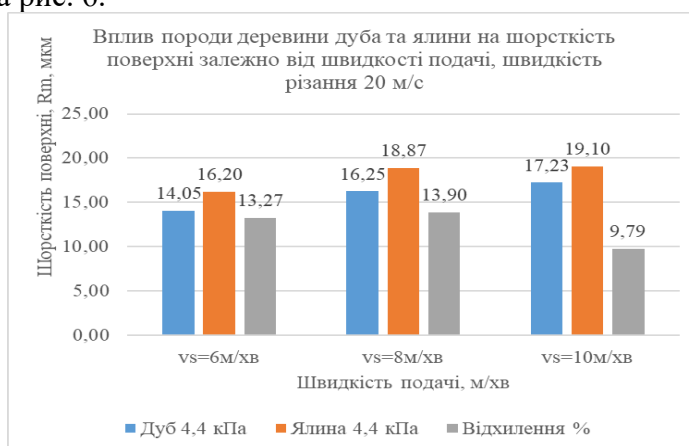


Рис. 6. Порівняння шорсткості поверхні дуба та ялини від швидкості подачі

Графічна інтерпретація порівняльних залежностей шорсткості поверхні від швидкості подачі *поверхні деревини дуба та ялини* свідчить, що якість поверхні деревини ялини гірша, тобто шорсткість вища на 13,27 % при швидкості подачі 6 м/хв, і на 9,79 % при швидкості подачі 10 м/хв.

Загальні висновки.

1. Проведено експериментальні дослідження впливу породи деревини та режимів шліфування на шорсткість отриманої поверхні. Досліджено, що порода деревини також впливає на

величину нерівностей поверхні, яка обробляється, а саме величина шорсткості обробленої поверхні обернено-пропорціональна густині оброблюваного матеріалу.

2. Отримано регресійні моделі, що характеризують шорсткість поверхні деревини дуба та ялини залежно від швидкості різання та питомого тиску притискання

3. Встановлено, що швидкість різання позитивно впливає на величину шорсткості обробленої поверхні. Це пов'язано з тим, що при великих швидкостях різання волокна деревини (особливо це актуально для твердих порід, що мають більшу густину) проявляють належний підпір різцю та не встигають надламатися під його тиском, а перерізаються різцем раніше, ніж зруйнується їх зв'язок з сусідніми волокнами. Отже, чистота обробленої поверхні буде кращою.

4. З'ясовано, що зі збільшенням питомого тиску притискання деталі до шліфувальної шкурки на поверхні деревини дуба збільшується шорсткість поверхні на 20-30 %, а поверхні деревини ялини – на 12-32 %. У ялини погіршення шорсткості на 12-13 % більше, ніж у дуба.

5. Встановлено, що зі збільшенням швидкості різання від 10 до 30 м/с шліфувальною шкуркою поверхні деревини дуба шорсткість поверхні зменшується на 40-60 %, а ялини – на 44-86 %. У ялини динаміка на 10-20 % більша, ніж у дуба. Встановлено, що зі збільшенням швидкості подачі на поверхні деревини дуба збільшується шорсткість поверхні на 21-30 %, у ялини – на 13,63-23,46 %. У ялини погіршення шорсткості на 9-13 % більше, ніж у дуба. Для здійснення ефективного шліфування з отриманням якісної поверхні (порід дуба і ялини) рекомендуються такі вхідні величини обробки: Швидкість різання, u , (20-30) м/с; Швидкість подачі, V_s , (6-8) м/хв; Питоме зусилля притискання P , (2,2-4,4) кПа. Зернистість шкурки в старому та новому маркуванні: (6-Н : 8-Н) = P180 : P150; (10-Н : 12-Н) = P120 : P100; (16-Н : 25-Н) = P90 : P60.

References

1. **Berenice A.A.** (1977): Issledovanye protsessa bestsentrovoho shlyfovanyaya kruhlykh derevyannykh detaley. [Study of the process of centerless grinding of round wooden parts]. Abstract PhD. - Lviv. - 25 p. (in Russian)
2. **Bugaenko Ya.P.** (2010): Do pytannya profil'noho shlyfovannya derevyyny [On the issue of profile sanding of wood]. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 36:100-102 (in Ukrainian).
3. **Buglay B.M.** (1957): Issledovanye y normalyzatsyya chystoty poverkhnosty drevesyny [Investigation and normalization of wood surface cleanliness]. Abstract of the doctor of technical sciences. Moscow, 36 p. (in Russian)
4. **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>.
5. **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>.
6. **Gayda S.V.** (2011): Вживана деревина – додатковий ресурс сировини / *Vzhyvana derevyyna – dodatkovyy resurs syrovyny* [Recovered wood is additional resource of raw material]. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 37(1): 238-244 (in Ukrainian).
7. **Gayda, S.V., Maksymiv, V.M.** (2007): Аналіз, особливості, проблеми та досвід використання додаткових ресурсів сировини – відходів та вживаної деревини / *Analiz, osoblyvosti, problemy ta dosvid vykorystannya dodatkovykh resursiv syrovyny – vidkhodiv ta vzhynanoyi derevyyny* [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).
8. **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).
9. **Gayda S.V.** (2013): Основи формування класифікатора вторинних деревинних ресурсів / *Osnovy formuvannya klasyfikatora vtorynnykh derevyynykh resursiv* [Bases of secondary wood resources classifier formation]. Scientific Works of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine 11:208-215 (in Ukrainian).
10. **Gayda S.V.** (2017): Комплексні дослідження зміни пружних властивостей вживаної деревини ялиці з віком / *Kompleksni doslidzhennya zminy pruzhnykh vlastyvostey vzhynanoyi derevyyny yalytsi z vikom* [The complex studies on the change of elastic properties of post-consumer fir wood with age]. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 43:58-72 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42174308>
11. **Gayda S.V.** (2016): *Ekologo-tehnologicheskkiye aspekty pererabotki vtorichno ispol'zuyemoy drevesiny dlya proizvodstva pressovannykh materialov* [Ecological and technological aspects of recycling post-consumer wood for production compacted materials]. Lesnoy vestnik / Forestry bulletin of MSFU 20(3):15-22 (in Russian).
12. **Gayda S.V.** (2016): Технологічні підходи до поверхневого очищення вживаної деревини голкофрезерним інструментом / *Tekhnolohichni pidkhody do poverkhnevoho ochyshchennya vzhynanoyi derevyyny*

holkofrezernym instrumentom [Technological approaches to cleaning of surface of post-consumer wood of needle-milling tools]. Bulletin of KhNTUA 178:3-11 (in Ukrainian).

13. **Gayda S.V.** (2015): *Tekhnologii i fiziko-mekhanichni vlastivosti stolyarnikh plit iz vzhivanoi derevini* [Technology and physical and mechanical properties blockboard made of post-consumer wood]. *Technical service of agriculture, forestry and transport systems* 3(1):145-152 (in Ukrainian).

14. **Gayda S.V., Petryshak I.V., Somar G.V.** (2020) : Дослідження впливу породи та режимів шліфування на питому продуктивність шліфувальної шкурки / *Doslidzhennya vplyvu porody ta rezhymiv shlifuvannya na pytomu produktyvnist' shlifoval'noyi shkurky* [Study of the influence of breed and grinding modes on the specific productivity of grinding skin]. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 46:5-15 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42204601>

15. **Kiyko O.A.** (1994): *Novyy instrument dlya chystovoho shlifuvannya derevyiny* [A new tool for fine sanding of wood] // *Scientific Bulletin of UNFU* 1:91-94 (in Ukrainian)

16. **Kiyko O.A.** (1995): *Vplyv shvydkosti rizannya, shvydkosti podachi ta velychyny prytyskannya na sylovi pokaznyky protsesu shlifuvannya kombinovany zhorstko-pruzhnyimi abrazyvnymi kruhamy* [Influence of cutting speed, feed rate and pressure on the force indicators of the grinding process by combined rigid-elastic abrasive wheels] // *Bulletin of UNFU* 3(1):143-145 (in Ukrainian)

17. **Kiyko O.A.** (1999): *Deyaki konstruktyvni osoblyvosti elastychnykh abrazyvnykh instrumentiv dlya shlifuvannya derevyiny* [Some design features of elastic abrasive tools for sanding wood] // *Scientific Bulletin of UNFU* 9(5):165-168 (in Ukrainian)

18. **Petryshak I.V.** (2003): *Vyznachennya konstruktyvnykh parametriv zhorstko-pruzhnoho abrazyvnoho instrumenta* [Determination of design parameters of rigid-elastic abrasive tool] // *Scientific Bulletin of UNFU* 13(1):137-142 (in Ukrainian)

19. **Petryshak I.V.** (2006): *Obgruntuvannya strukturnykh parametriv zhorstkopruzhnoho abrazyvnoho instrumenta* [Substantiation of structural parameters of rigid abrasive tool] // *Nauk. Bulletin: Coll. scientific and technical work. - Lviv: NLTU of Ukraine. - 2006, issue. 16.3. - P. 70-75.*

20. **Petryshak I.V.** (2003): *Doslidzhennya rezhymnykh parametriv protsesu shlifuvannya derevyiny buka zhorstko-pruzhnyimi abrazyvnymi instrumentamy* [Investigation of regime parameters of beech wood grinding process by rigid-elastic abrasive tools] // *Scientific Bulletin of UNFU* 13(2):133-136 (in Ukrainian)

21. **Pyzhurin A.A.** (1984): *Issledovanye protsessov derevoobrabotky* [Research of woodworking processes]. Moscow: Forest Industry, 232 p. (in Russian)

22. **Popov Yu.P.** (1964): *Issledovanye rabotosposobnosti shlyfoval'noy shkurky* [Study of the efficiency of the grinding skin]. Abstract of PhD. Moscow, 23 p. (in Russian)

23. **Rudakov B.N.** (1940): *Issledovannya kachestva shlyfovannoy poverkhnosti drevesyny* [Research of quality of the polished surface of wood]. Abstract of PhD. Moscow, 20 p. (in Russian).

24. **Gayda S.V., Kshyvetsky B.Ya., Voytovych I.G., Prokopovych B.V.** (2002): Тлумачний словник з деревооброблення / *Tlumachnyy slovnyk z derevoobroblennya* [Explanatory dictionary from Woodworking]. Lviv: UNFU. – 280 p. (in Ukrainian)

25. **Gayda S.V., Grytsak S.A.** (2020) : *Porivnyal'nyy analiz fizyko-mekhanichnykh kharakterystyk hnutykh elementiv iz riznykh porid derev* [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>

26. **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. <https://doi.org/10.36930/42174301> (in Ukrainian).

27. **Gayda S.V.** (2020) : *Analiz konstruktsiy ta tekhnolohiy vyhotovlennya suchasnykh meblevykh fasadiv* [Analysis of structures and technologies of manufacture of modern furniture facades]. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 46:54-64 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42204606>

28. **Gayda S.V.** (2011). Recycled of post-consumer wood is for the production of particleboard in Ukraine / *Proceedings of the XXI International symposium Adhesives in Woodworking Industry* (Slovakia, Zvolen Juve 29 – July 01. 2011). TU Zvolen. – P. 108-121.

29. **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 Juve 23-26. 2013). TU Zvolen, 119-130.

30. **Gayda S.V.** (2013). Розроблення технології виробництва паливних гранул на основі енергетичного потенціалу вживаної деревини [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).

31. **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 of forest complex* 38:212-216 (in Russian).

32. **Gayda S.V., Kiyko O.A.** (2018). Shape stability as a quality criterion for PCW-made blockboards. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 17, 185-192. <https://doi.org/10.15421/411834> (in Ukrainian)

33. **Gayda S.V.** (2015). Modeling properties of blockboards made of post-consumer wood on the basis of the finite element method. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 41, 39-49. <https://doi.org/10.36930/42154106>
34. **Gayda S.V.** (2016). Research on physical and mechanical characteristics of front blockboards made from post-consumer wood [Дослідження фізико-механічних характеристик фасадних столярних плит із вживаної деревини]. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 42: 33-50.
35. **Gayda S.V.** (2016). Технологічні підходи до поверхневого очищення вживаної деревини голкофрезерним інструментом / *Tekhnologichni pidkhody do poverkhnevoho ochyshchennya vzhivanoyi derevyiny holkoferzernym instrumentom* [Technological approaches to cleaning of surface of post-consumer wood of needle-milling tools]. *Bulletin of KhNTUA* 178:3-11(in Ukrainian).
36. **Gayda S.V.** (2017). *Tekhnologiya i svoystva mebel'nogo shchita iz vtorichno ispol'zuemoy drevesiny* [A technology and properties of furniture board made of post-consumer wood]. *Actual problems of forest complex* 48:34-38, (in Russian).
37. **Gayda S.V.** (2013). Resource-saving technologies of recycling of post-consumer wood]. *Scientific Bulletin of NULES of Ukraine: Technology and Energy of agroindustrial complex* 185(2):271-280, (in Ukrainian).
38. **Gayda S.V.** (2018). Технологія МДФ-фасадів / *Tekhnolohiyi MDF-Fasadiv* [MDF Facade Technologies]. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 44:70-83 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42184410>
39. **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).
40. **Gayda S.V., & Bilyy, Ya.M.** (2016). The investigation of the shape stability of glued panels made of post-consumer wood. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 42, 69-79. <https://doi.org/10.36930/42164211> (in Ukrainian).
41. **Gayda S.V., Kiyko O.A.** (2021). Властивості вживаної деревини як визначальний чинник якості меблевих виробів / *Vlastyivosti vzhivanoyi derevyiny yak vyznachal'nyy chynnyk yakosti meblevykh vyrobiv* [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). <https://doi.org/10.15421/412135>
42. **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 (in Ukrainian).

UDC 684.4.057

Prof. S.V. Gayda, Doctor of Sciences; assoc. prof. I.V. Petryshak, Ph.D; Zh.Ya. Humeniuk - UNFU

Determination of the influence of rock and grinding modes on the surface roughness of wood

Abstract. Experimental studies of the influence of wood species and grinding modes on the roughness of the obtained surface were carried out. It is investigated that the type of wood also affects the magnitude of the irregularities of the surface to be treated, namely the magnitude of the roughness of the treated surface is inversely proportional to the density of the treated material. Regression models are obtained, which characterize the roughness of the surface of oak and spruce wood depending on the cutting speed and the specific pressure of pressing. It is established that the cutting speed has a positive effect on the roughness of the treated surface. This is due to the fact that at high cutting speeds wood fibers (especially relevant for hardwoods with higher density) show proper support to the cutter and do not have time to break under its pressure, and cut with a cutter before it breaks their connection with neighboring fibers. Therefore, the purity of the treated surface will be better. It is established that with the increase of cutting speed from 10 to 30 m / s by grinding skin of oak wood surface roughness decreases by 40-60%, and spruce - by 44-86%. Spruce has a 10-20% roughness dynamics than oak. It was found that with the increase of the specific pressure of pressing the part to the sanding skin on the surface of oak wood, the surface roughness increases by 20-30%, and the surface of spruce wood - by 12-32%. In spruce, the deterioration of roughness is 12-13% greater than in oak. It is established that with the increase of the feed rate on the surface of oak wood the surface roughness increases by 21-30%, in spruce - by 13.63-23.46%. In spruce deterioration of roughness by 9-13% more than in oak. To carry out effective grinding to obtain a quality surface (such as oak and spruce), the following input values are recommended: cutting speed 20-30 m / s; feed speed 6-8 m / min; specific clamping force 2.2-4.4 kPa; grain size of skins: P180-P150; P120-P100; P90-P60.

Keywords: technology, roughness, grinding, oak, spruce, cutting speed, pressing force, feed speed.

ОЦІНЮВАННЯ ВТРАТ РОБОЧОГО ЧАСУ У ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМАХ І СТАБІЛЬНОСТІ РОБОТИ АВТОМАТИЧНИХ ЛІНІЙ У ГАЛУЗІ ДЕРЕВООБРОБЦІ

Проаналізовано новий метод розрахунку додаткових втрат робочого часу в системах послідовного компонування, розглядається завдання застосування сучасних методів розрахунку автоматизованих виробничих систем для підвищення ефективності функціонування на деревообробних підприємствах. Проаналізовано вплив стохастичних факторів на стабільність функціонування технологічних операцій. Обґрунтовано, що у деревообробній галузі технологічні операції мають малу стабільність, тому накладання втрат робочого часу проявляється особливо. Підвищення продуктивності технологічних ліній виконують за допомогою розроблення оптимальних схем компонування обладнання, структурно-параметричної оптимізації. Існуючі методи оцінювання накладання втрат робочого часу є наближеними і придатні тільки для виробничих систем з однаковими дільницями. Для складних виробничих систем виконують імітаційне моделювання функціонування лінії. Встановлено, що для багатофазних виробничих систем доцільно використовувати імітаційні моделі парної взаємодії з різними ступенями накладання втрат робочого часу. Залежно від кількості послідовних фаз, ступінь накладання втрат часу в умовних розрахункових парах змінюється. Аналіз автоматизованих виробничих систем дає змогу оцінити ефективність системи у цілому та її елементів з урахуванням стохастичних впливів на виробничий процес. Здійснено проектування автоматичних ліній здійснюють порівняння різних варіантів об'єктів досліджень та їх обґрунтування. Виконано дослідження, що дають можливість встановити параметри технологічних ліній, які значно впливають на фактичну продуктивність та ефективність. Підвищення ефективності автоматизованих виробничих систем здійснюють за допомогою розроблення оптимальних схем компонування устаткування, структурно-параметричної оптимізації.

Ключові слова: автоматизовані виробничі системи, додаткові втрати робочого часу; параметр стабільності; імітаційне моделювання; структурно-параметрична оптимізація.

Завдання аналізу ефективності автоматичних ліній у галузі деревооброблення полягає у встановленні оцінок продуктивності виробничої системи, впливу стохастичних факторів на її функціонування. Розв'язання за таких завдань здійснюють за допомогою використання методів імітаційного моделювання. При проектуванні технічних рішень порівнюють різні варіанти об'єкта дослідження та їх обґрунтування. Додаткові втрати робочого часу у виробничій системі, що виникають у процесі взаємодії послідовно працюючих дільниць. Ці додаткові накладені втрати робочого часу значно знижують ефективність використання виробничої систем у цілому. У деревообробній галузі технологічні операції мають невисоку стабільність, тому підвищення накладання втрат робочого часу проявляється тут, особливо. Додаткові накладені втрати можуть сягати половини усіх втрат робочого часу виробничої системи. На це впливають фактори:

- в одному виробничому цеху зосереджені різні види оброблення заготівок, виробів;
- дуже виражена нестабільність тривалості операцій у деревообробці;
- технологічні лінії мають велику кількість технологічних операцій та характеризуються великою довжиною і кількістю заготівок;
- у виробничому процесі одночасно знаходяться заготовки різних типорозмірів деталей.

Важливим завдання є оцінювання усіх складових витрат та втрат робочого часу з метою підвищення ефективності виробництва і виготовлення якісної продукції [17-31]. Існуючі методи оцінювання накладання втрат робочого часу є наближеними і придатні тільки для виробничих систем з однаковими дільницями [1, 2]. Для виробничих систем, які складаються з двох послі-

¹ Оріховський Роман Ярославович, канд. техн. наук, доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-067-278-13-68. E-mail: romanorix9@gmail.com

довних дільниць і мають різні номінальні продуктивності побудовані аналітичні залежності. За цими залежностями обчислюються накладені втрати робочого часу для кожної із дільниць [2]. У випадку більшої кількості послідовних виробничих дільниць з різною номінальною продуктивністю виконується наближене оцінювання втрат робочого часу за допомогою відповідних обчислень, які використовуються для двох дільниць, у подальшому утворюється умовна проміжна дільниця, яка об'єднується у виробничу систему з наступною і т.д. [1, 2, 6-10]. Спочатку обчислюються накладені втрати робочого часу для двох перших дільниць. Потім розраховується значення їх продуктивності. На наступному кроці перші дві дільниці будуть розглядатися як одна умовна дільниця, яка взаємодіє з наступною дільницею. Обчислюються параметри нової умовної дільниці і так до кінця лінії. Для складних виробничих систем виконують імітаційне моделювання функціонування лінії [1, 3, 4].

На величину втрат робочого часу впливає кількість послідовних дільниць. Для технологічних ліній з високою стабільністю роботи технологічного устаткування, коефіцієнт накладання втрат робочого часу у виробничій системі визначається за формулою [1,2]:

$$H_c = 1 + \frac{1}{(a-1)V_d}, \quad (1)$$

де: **a** - кількість послідовних виробничих дільниць; **V_d** - власні втрати виробничої дільниці.

Величина додаткових втрат робочого часу залежить від кількості послідовних дільниць (**a**) у виробничій системі і власних втратами на кожній дільниці **V_d**. Вираз (1) не враховує ступінь стабільності тривалостей технологічних операцій і можливість використання гнучких зв'язків між окремими дільницями. Виробничі системи, які мають жорстко з'єднані між собою виробничі дільниці з індивідуальним ритмом роботи та нестабільні (коли коефіцієнт стабільності, $K=1$), тоді коефіцієнт додаткових втрат робочого часу обчислюється емпіричним виразом:

$$H_{ci} = 0,6(3) - 0,6 / a, \quad 2 \leq a \leq 50 \quad (2)$$

У виробничих системах з єдиним ритмом роботи, коли всі технологічні операції розпочинаються одночасно після закінчення попередніх операцій на усіх дільницях, величина втрат робочого часу є більша. Вона визначається за допомогою формули:

$$H_{cc} = 1 - \left(\sum_{i=1}^a \frac{1}{i} \right)^{-1}. \quad (3)$$

Порівняння впливу кількості виробничих дільниць на величину додаткових втрат робочого часу показує, що чим більші власні втрати, тим вище значення коефіцієнта накладання втрат робочого часу у системі. Якщо кількість виробничих дільниць досягає п'яти і більше, то коефіцієнти додавання втрат робочого часу у виробничих системах значно відрізняються між собою. Ідеальні моделі можуть лише наближено оцінювати реальні виробничі системи. З теорії масового обслуговування [3-5] маємо, що для моделі системи з двох послідовних дільниць, які мають продуктивність μ_1 і μ_2 , коефіцієнт використання робочого часу першої і другої виробничої дільниці обчислюється за формулою (4)

$$\left. \begin{aligned} \rho_1 &= \frac{1 - \mu^2}{1 - \mu^3} = \frac{1 + \mu}{1 + \mu + \mu^2} \\ \rho_2 &= \mu \rho_1, \quad \mu = \mu_1 / \mu_2 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

За формулою (5) розраховується величина коефіцієнта накладання втрат робочого часу для першої виробничої дільниці

$$H_1 = 1 - \rho_1 = 1 - \frac{1 + \mu}{1 + \mu + \mu^2} = \frac{\mu^2}{1 + \mu + \mu^2} \quad (5)$$

Для другої виробничої дільниці розраховуємо за формулою (6)

$$H_2 = 1 - \rho_2 = 1 - \mu\rho_1 = 1 - \frac{\mu + \mu^2}{1 + \mu + \mu^2} = \frac{1}{1 + \mu + \mu^2}. \quad (6)$$

З виразів (5) та (6) визначаємо таке відношення (7)

$$H_1/H_2 = \mu^2 = \mu_1^2/\mu_2^2. \quad (7)$$

$$\text{Звідси отримуємо} \quad H_1 = \mu^2 H_2. \quad (8)$$

Відношення коефіцієнтів втрат робочого послідовних ділень є прямо пропорційним до відношення квадратів їхніх продуктивностей. Дані співвідношення дозволяють проаналізувати виробничий процес і оцінювати результат взаємодії двох виробничих ділень. Їх використовують для багатофазних систем.

Проте, метод послідовного аналізу багатофазних систем за залежностями для двох ділень не відображає дійсного результату накладання втрат робочого часу, а дає завищені результати. У реальних виробничих процесах існує велика ймовірність одночасних затримок роботи устаткування на різних фазах виробництва. У цьому разі їх втрати не накладаються. Послідовний метод розрахунку таких схем компонування не враховує цього. Завищення додаткових втрат робочого часу зростає із кількістю розрахунків для умовних пар устаткування. Для багатофазних виробничих систем доцільно використовувати імітаційні моделі парної взаємодії з різними ступенями накладання втрат робочого часу. Залежно від кількості послідовних фаз, ступінь накладання втрат часу в умовних розрахункових парах змінюється. Сумарна дія нових віртуальних пар устаткування відповідатиме дійсному показникові накладання втрат робочого часу у виробничій системі.

Для забезпечення необхідної точності розрахунку додаткових втрат робочого часу пропонуємо використовувати показник степеня n у формулах (9) залежно від кількості ділень у виробничій системі.

$$\left. \begin{aligned} H_1 &= 1 - \rho_1 = 1 - \frac{1 - \mu^n}{1 - \mu^{n+1}} = \mu^n \frac{1 - \mu}{1 - \mu^{n+1}} \\ H_2 &= 1 - \rho_2 = 1 - \mu \frac{1 - \mu^n}{1 - \mu^{n+1}} = \frac{1 - \mu}{1 - \mu^{n+1}} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Достовірні результати обчислень (10) отримуються при такому співвідношенні показника степеня n і кількістю ділень a

$$\begin{aligned} n &= \sqrt[3]{4a}, \\ 2 &\leq a \leq 30. \end{aligned} \quad (10)$$

Якщо кількість ділень змінюється від 2 до 30, та показник степеня n зростає від 2 до 5 (рис.1). Традиційні методи розрахунків послідовного аналізу пар ділень з постійним показником $n=2$ дають досить велике завищення результатів. Розбіжність між розрахунковими й дійсними значеннями перевищує 30%. Втрати робочого часу для a однакових ділень за традиційними послідовними розрахунками (11) сягають рівня позначеного кривою 2 на рис.2:

$$H_T = 1 - \left(\frac{2}{3}\right)^{\log_2 a}. \quad (11)$$

Реальне накладання додаткових втрат робочого часу розраховується за формулами (9) із показником степеня n , що знаходиться за формулою (10). Дійсні значення коефіцієнта накладання втрат за виразом (12)

$$H_n = 1 - \left(\frac{n}{n+1}\right)^{\log_2 a} = 1 - \left(1 + n^{-1}\right)^{-\log_2 a} = 1 + \left[1 + (4a)^{-1/3}\right]^{-\log_2 a}, \quad 2 \leq a \leq 30. \quad (12)$$

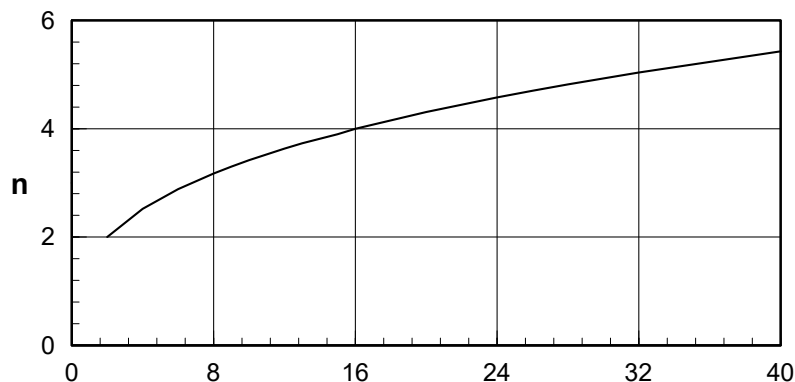


Рис. 1. Залежність показника n від кількості ділянок технологічної лінії

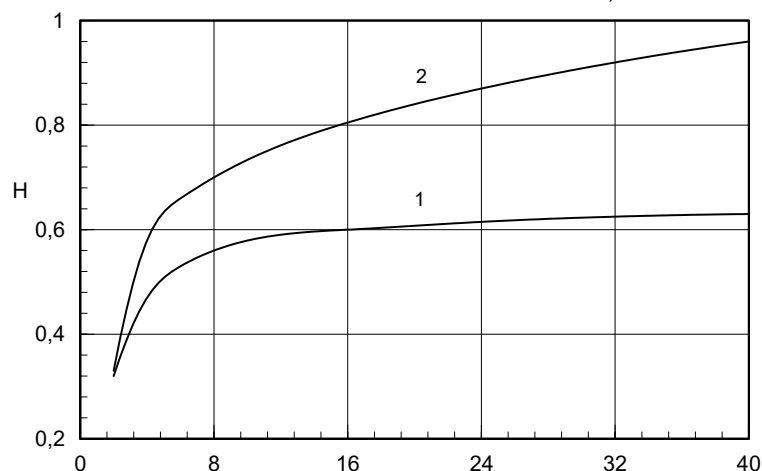


Рис. 2. Фактична залежність коефіцієнта втрат робочого часу H від кількості ділянок технологічної лінії a (1) і розрахункове значення (2)

Для однакових умов функціонування виробничої системи, формули (2) та (12) дозволяють отримувати близькі значення (крива 1 рис. 2). Для автоматизованих виробничих систем необхідно забезпечити швидкодію та надійність, що досягається підвищенням точності та інших характеристик деталей і вузлів. В автоматизованих виробничих системах, автоматизованих лініях доцільно застосовувати концентрацію операцій [6, 7, 10], що дає змогу: підвищити якість виробів, скоротити час їхнього оброблення шляхом зменшення кількості допоміжних операцій, поліпшити умови керування виробництвом. Важливе значення має впорядкування стабільності тривалості циклу верстатів у різних технологіях [10-16].

Виконані дослідження дають можливість зробити такі **висновки**: Ефективність автоматизованих виробничих систем з послідовним розміщенням виробничих ділянок зменшується через накладання втрат робочого часу; Існуючі методи розрахунку дають завищені результати до 30%; Запропонований метод дає змогу врахувати залежність коефіцієнта накладання втрат робочого часу від кількості виробничих ділянок у системі, дає точніші результати розрахунків функціонування послідовних виробничих систем. Метод дозволяє аналізувати якість функціонування виробничих ділянок з різними продуктивностями та розв'язувати завдання синтезу виробничих систем.

References

1. Dudyuk D.L., Zagvoyska I.D., Maksymiv V.M., Soroka L.Ya. (1992): *Elementy teoriiy avtomatychnykh liniy* [Elements of the theory of automatic lines]. Textbook. – Kyiv. – 192 p., (in Ukrainian).
2. Dudyuk D.L., Maksymiv V.M., Soroka L.Ya., Orikhovsky R.Ya. et al. (1996): *Imitatsiynе modelyuvannya hnuchkykh avtomatyzovanykh liniy u lisovyrobnychomu kompleksi* [Simulation modeling of flexible automated lines in the forestry complex]. Monograph. – Kyiv. – 140 p., (in Ukrainian).
3. Williams, D.I. Manufacturing systems: an introduction to the technologies. - Open University Press Milton Keynes, England, 1988. - 208 p.
4. Orikhovskyy R.Ya., Gayda S.V. (2020) : Вплив різних параметрів стабільності виробничих ділянок на ефективність функціонування деревообробного виробництва / *Vplyv riznykh parametriv stabil'nosti vyrobnychyykh dil'nyts' na efektyvnist' funktsionuvannya derevoobrobnoho vyrobnytstva* [The influence of different

parameters of stability of production sites on the efficiency of functioning of woodworking production]. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 46:49-53 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42204605>

5. **Gayda S.V., Kshyvetsky B.Ya., Voytovych I.G., Prokopovych B.V.** (2002): Тлумачний словник з деревооброблення / *Tlumachnyy slovnyk z derevoobroblennya* [Explanatory dictionary from Woodworking]. Lviv: UNFU. – 280 p. (in Ukrainian).

6. **Gayda S.V.** (1998): Гнучкі автоматизовані виробництва та робототехніка в деревообробленні: Основи робототехніки / *Hnuchki avtomatyzovani vyrobnytstva ta robototekhnika v derevoobroblenni* [Flexible manufacturing system and robots technology in the Woodworking. Vol.2: Fundamentals of robots technology]. Lviv: – 144 p

7. **Gayda S.V., Bilyy Ya.M.** (2019): Дослідження технологічних процесів виготовлення ліжок двоспальних різних конструкцій / *Doslidzhennya tekhnologichnykh protsesiv vyhotovlennya lizhok dvospal'nykh riznykh konstruktсий* [A investigation of technological processes of making beds of double different designs]. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 45:21-31 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42194504>

8. **Gayda S.V.** (2017): Використання нечітких експертних систем для підтримки прийняття рішень в процесі сортування вживаної деревини / *Vykorystannya nechitkykh ekspertnykh system dlya pidtrymky pryunyattya rishen' v protsesi sortuvannya vzhuvanoyi derevyny* [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>

9. **Gayda, S.V.** (2007): Дослідження концентрації операцій у сучасному меблевому виробництві / *Doslidzhennya kontsentratsiyi operatsiy u suchasnomu meblevomu vyrobnytstvi* [Research of concentration of operations in modern furniture Productions]. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 33:73-79 (in Ukr.).

10. **Gayda S.V.** (2020) : Аналіз конструкцій та технологій виготовлення сучасних меблевих фасадів / *Analiz konstruktсий ta tekhnolohiy vyhotovlennya suchasnykh meblevykh fasadiv* [Analysis of structures and technologies of manufacture of modern furniture facades]. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 46:54-64 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42204606>

11. **Gayda S.V., Petryshak I.V., Somar G.V.** (2020) : Дослідження впливу породи та режимів шліфування на питому продуктивність шліфувальної шкурки / *Doslidzhennya vplyvu porody ta rezhymiv shlifuvannya na pytomu produktyvnist' shlifoval'noyi shkurky* [Study of the influence of breed and grinding modes on the specific productivity of grinding skin]. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 46:5-15 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42204601>

12. **Gayda S.V., Voytovych I.G., Orikhovskyy R.Ya.** (2020) : Дослідження технологічних процесів виготовлення ніжок столів обідніх різних конструкцій / *Doslidzhennya tekhnologichnykh protsesiv vyhotovlennya nizhok stoliv obidnykh riznykh konstruktсий* [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>

13. **Gayda S.V., Grytsak S.A.** (2020) : Порівняльний аналіз фізико-механічних характеристик гнутих елементів із різних порід дерев / *Porivnyal'nyy analiz fizyko-mekhanichnykh kharakterystyk hnutykh elementiv iz riznykh porid derev* [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>

14. **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>.

15. **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>.

16. **Gayda S.V.** (2011). Recycled of post-consumer wood is for the production of particleboard in Ukraine / Proceedings of the XXI International symposium Adhesives in Woodworking Industry (Slovakia, Zvolen Juve 29 – July 01. 2011). TU Zvolen. – P. 108-121.

17. **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 Juve 23-26. 2013). TU Zvolen, 119-130.

18. **Gayda S.V.** (2013). Розроблення технології виробництва паливних гранул на основі енергетичного потенціалу вживаної деревини [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).

19. **Gayda S.V.** (2016). Технологічні підходи до поверхневого очищення вживаної деревини голкофрезерним інструментом / *Tekhnologichni pidkhody do poverkhnevoho ochyshchennya vzhuvanoyi derevyny holkofrezernym instrumentom* [Technological approaches to cleaning of surface of post-consumer wood of needle-milling tools]. Bulletin of KhNTUA 178:3-11(in Ukrainian).

20. **Gayda S.V.** (2014). Теоретичне обґрунтування підходу до прогнозування міцності деревностружечних плит із вторично іспользованої деревини [The theoretical rationale for the approach on the prediction the strength of particleboard from recycled wood]. Actual problems of forest complex 38:212-216 (in Russian).

21. **Gayda S.V.** (2004). Інтегровані технології меблевого виробництва [Integrated technologies of furniture production]. Scientific Bulletin of UNFU 14.4:118-121. (in Ukrainian).
22. **Gayda S.V.** (2015). Modeling properties of blockboards made of post-consumer wood on the basis of the finite element method. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry, 41, 39-49. <https://doi.org/10.36930/42154106>
23. **Gayda S.V.** (2016). Research on physical and mechanical characteristics of front blockboards made from post-consumer wood [Дослідження фізико-механічних характеристик фасадних столярних плит із вживаної деревини]. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 42: 33-50.
24. **Gayda S.V.** (2003). Гнучкі виробничі модулі для виготовлення ґратчастих меблевих виробів [Flexible production modules for the production of lattice furniture products]. Scientific Bulletin of UNFU 13.2:120-122. (in Ukrainian).
25. **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. <https://doi.org/10.36930/42184402> (in Ukrainian).
26. **Gayda S.V.** (2018). Технологія МДФ-фасадів / Tekhnolohiyi MDF-Fasadiv [MDF Facade Technologies]. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 44:70-83 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42184410>
27. **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).
28. **Gayda S.V., Bilyy, Ya.M.** (2016). The investigation of the shape stability of glued panels made of post-consumer wood. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry, 42, 69-79. <https://doi.org/10.36930/42164211> (in Ukrainian).
29. **Gayda S.V., Kiyko O.A.** (2021). Властивості вживаної деревини як визначальний чинник якості меблевих виробів / *Vlastyvyosti vzhynanoyi derevyny yak vyznachal'nyy chynnyk yakosti meblevykh vyrobiv* [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). <https://doi.org/10.15421/412135>
30. **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 (in Ukrainian).

UDC 658.527.011.56

Assoc. prof. R.Ya. Orikhovskyy – UNFU

The estimation of losses of working time in production systems and work stability of automatic lines in the field of woodworking

The paper analyzes a new method of calculating additional losses of working time in sequential layout systems, considers the problem of applying modern methods of calculating automated production systems to improve the efficiency of woodworking enterprises. The influence of stochastic factors on the stability of technological operations is analyzed. Additional imposed losses of working time significantly reduce the efficiency of production systems as a whole. In the woodworking industry, technological operations have little stability, so the imposition of loss of working time is particularly pronounced. The actual performance of automated lines is significantly reduced. Improving the productivity of technological lines is performed by developing optimal equipment layout schemes, structural and parametric optimization. An important task is to calculate the component costs of the production process and losses of working time in order to improve production efficiency and manufacture quality products. Existing methods for estimating the imposition of loss of working time are approximate and suitable only for production systems with the same sites. In the case of a large number of consecutive production sites with different nominal productivity, an approximate estimate of the loss of working time is performed using the appropriate calculations used for the two sites. In subsequent calculations, a conditional section is created, which interacts with the next section, the parameters of the new section are calculated and so the calculation is carried out to the end of the production line. For complex production systems, simulation of line operation is performed.

Key words: automated production systems, additional losses of working time; stability parameter; simulation modeling; structural-parametric optimization.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИГОТОВЛЕННЯ МЕБЛЕВИХ ФАСАДІВ З МАСИВНОЇ ДЕРЕВИНИ

Проаналізовано конструктивні складові для створення фасадних меблевих дверей. Розроблено конструкції фасадних меблевих дверей для здійснення досліджень. Підібрано та розраховано сучасні матеріали для створення трьох варіантів фасадних меблевих дверей. Розроблено методику порівняльних досліджень технологічних процесів отримання меблевих дверей, що мають різні складові та комплектуючі елементи. Запропоновано технологічні операції під час створення фасадних меблевих дверей прийнятого різновиду досліджень. Підібрано сучасне обладнання для здійснення технологічних операцій під час створення фасадних меблевих дверей прийнятого різновиду досліджень. Розроблено технологічні маршрути та побудовано плани цехів з підбором прийнятого устаткування для створення трьох різновидів фасадних дверей. Розраховано прийняте обладнання та устаткування та зроблено його аналіз за ціною та проаналізовано загальну вартість для створення трьох різновидів фасадних меблевих дверей. Підібрано виробничий персонал та проаналізовано їх чисельність для створення трьох різновидів фасадних меблевих дверей. Зроблено порівняльний аналіз технологічних процесів та вибрано раціональний Різновид із створення фасадних меблевих дверей прийнятої конструкції. Розраховано показники економічної ефективності для всіх різновидів під час виготовлення фасадних дверей та підтверджено раціональний цифровими показниками. Встановлено, що варіант виготовлення дверних меблевих фасадів із меблевого щита є найбільш рентабельним, тобто ефективним до впровадження у виробництво, так як він має: найменшу тобто найнижчу собівартість серед усіх трьох різновидів 563,19 грн.; прийнятну, тобто найменшу ціну 664,60 грн.; найменші капіталовкладення 4796,57 тис. грн.; найменший термін окупності інвестиційних витрат – 3,94 року.

Ключові слова: меблевий фасад, меблевий щит, технології, складання, склеювання, рамко-тахлеві конструкції, вироби з деревини, технологічні процеси.

Актуальність. Сучасні меблеві вироби, зокрема корпусні, мають бути екстравагантними, красивими, естетичними та функціональними. Основним складовим елементом корпусних меблів є фасад. Особливо, якщо складовими меблевого фасаду є елементи з натуральної деревини, зокрема твердих листяних порід, наприклад дуба. Зрозуміло, що є багато конструкцій та Різновидів їх виготовлення. Але в кінцевому, завершеному вигляді меблеві фасади є ізюминкою меблевого виробу: чи то стінок кухні, чи стінок вітальні. Існують різні технологічні процеси виготовлення меблевих фасадів. Запропоновані конструкції та розроблені технології їх виготовлення є актуальними у теперішній час та і можуть бути використані в перспективі [1, 18-26] при залученні вживаної деревини також [28-37].

¹ Гайда Сергій Володимирович – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, доктор технічних наук, професор кафедри технологій меблів та виробів з деревини. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: 032-238-45-04, +38-067-791-25-22. E-mail: serhiy.hayda@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7468-5661> ResearcherID: ABB-1636-2021 Scopus/authorID=57221587964

² Ільків Михайло Миколайович, асистент, кафедра технологій меблів та виробів з деревини. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103. м. Львів, 79057, Україна. Тел.: 032-238-45-04, +38-097-855-25-03. E-mail: mykhailo.ilkiv@nltu.edu.ua

³ Савка Дмитро Богданович – магістрант кафедри технології меблів та виробів з деревини. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103. м. Львів, 79057, Україна. Тел.: 032-238-45-04, E-mail: savka.d@nltu.lviv.ua

Проблема для вирішення – це розроблення технологічних процесів з виготовлення меблевих фасадів з використанням натуральної деревини, та вибір раціонального Різновиду із трьох запропонованих, що базується меншому терміну окупності – відношенні отриманого прибутку до інвестиційних затрат. Зрозуміло, що кожен власник підприємства може використовувати будь який різновид, або і всі три різновиди, збільшуючи асортимент меблевої фасадної продукції. У теперішній час застосування фасадних **меблевих дверок** надасть можливість виготовити швидкоореалізовані меблеві корпусні вироби, що відповідають призначенню, а також естетичним та дизайнерським вимогам.

Аналіз стану питання. Сучасні меблеві вироби, зокрема корпусні мають бути екстравагантними, красивими, естетичними та функціональними [1, 2, 19-27]. Основним складовим елементом корпусних меблів є фасад [1-3, 7-13]. Матеріалом для фасаду можуть бути різні щитові елементи: Щит меблевий – конструкційний матеріал для меблевих виробів, який одержують шляхом склеювання за шириною на гладку фугу або іншим способом цільних або зрощених на зубчастий шип ламелей, які формуються з бездефектних відрізків. Щит меблевий личкований – це можна сказати, столярна плита, внутрішній щит, що личкований з двох боків. Щити тахляні – являють собою рамку, пройма якої заповнена плоским елементом – тахлею [1, 2, 4-6]. Найбільш поширеним способом кріплення тахель є їх установка в паз внутрішніх крайок брусків обв'язки одночасно зі складанням рамки на клею. Переважно тахляні щити використовують тепер для конструювання дверей корпусних меблів. **Фасади меблеві** бувають також рамкові з МДФ профілю та тахлі з МДФ плити [14-19]. Плити стружкові – отримують методом гарячого пресування деревної або іншого природного походження стружки відповідних розмірів із в'язучим матеріалом (клеєм) [19, 20-27]. Плити столярні – являють собою дощатий щит з несклеєних між собою каліброваних по товщині і личкованих з двох боків шпоном рейок [3-17]. Стінки столярних плит додатково личкуються.

Конструкції рамкових фасадів відрізняються між собою асортиментом тахель, які можуть бути із: Меблевого щита, Монолітної дерев'яної заготовки, Фанерного щита, МДФ плити, ДСП плити, Зі скла товщиною 3-8 мм, Решітки із дерев'яних рейок, З дзеркальних виробів, Інших щитових елементів. Актуальні конструкції фасадів характерно доповнюють інтер'єр приміщень, збагачують меблеві вироби сучасним дизайном. Тепер кухонні меблі та інші корпусні суттєво змінили свій зовнішній вигляд. Все це впливає на асортимент і відповідно на збут при купівлі різними споживачами, що мають різні статки та вподобання.

Визначальним та основним елементом сучасних корпусних меблів є фасад різного гатунку та конструкцій. Сьогодні на ринку є актуальними такі види меблевих фасадів: рамково-скляний (1.МФР-С), рамково-тахлевий (2.МФР-Т), щитовий (меблевий щит) (3.МФМЩ).

Необхідно пам'ятати, що високотехнологічний та якісний меблевий фасад і дорого коштує. Ціна може становити від 40 до 400 доларів за один метр квадратний. Тут важливе значення має наступне: порода, розмір рамки, походження силовини, конструкція фасаду, вид оброблення, якість опорядження, довговічність експлуатації, модифікація тахлі, контурне оброблення, складність конструкції. Вся технологія під час виробництва сучасних фасадів повинна базуватись на використанні сучасних верстатів та обробних центрів в тому числі [11-14, 27].

Основні конструктивні елементи в меблях – це рамка, брусок, щит. Тому їхнє поєднання і створює різні варіації фасадних поверхонь. Брусок може бути виготовленим з масивної деревини або склеєним із кількох частин. Щоб заготовка мала стабільну форму, то попередньо бруски необхідно склеїти. Склеювання призводить до: стабільності форми, підвищує формостійкість, використовуються короткомірні бруски, залучаються бездефектні відрізки, тобто бруски, підвищення міцності, отримання складних профілів, отримання криволінійних брусків. Можливість склеювати деревину дозволяє отримати деталі як простого, так і складного профілю при меншому розході високоякісної деревини [1, 27].

Рамка – конструктивний елемент, який має замкнений контур та обрамляє що-небудь. Рамка може не мати кутів, тобто це кругла форма з одного, двох брусків. **Фасадні рамки** – це в основному прямокутні контури з двох вертикальних та двох горизонтальних брусків. В рамки вкладаються різноманітні тахлі.

Щити – це взагалі елемент корпусних меблів, тобто він є основним. Пласть (ширина та довжина) щита в десятки інколи в сотні разів перевищує товщину. Оброблені щити у меблевому виробництві називають стінками. А щити із завершеними операціями з переднього боку називають **фасадними поверхнями**. І вони відіграють основну естетичну роль в конструкції меблевого виробу. За конструкцією і технологією отримання щити бувають: монолітні; масивні клеєні; дощаті на гладку фугу; переклейні на гладку фугу; тахлеві в рамці; плитні в асортименті: ДСП, ОСБ, МДФ, фанера та інші. Ціна, конструкції та фізико-механічні властивості це вже вимоги конструктора, фірми та спроможності покупця.

Мета – провести порівняльний аналіз технологічних процесів з виробництва трьох видів фасадів меблевих стінок кухонних з бездефектних брусків з деревини твердих листяних порід (меблевих дверей) різних конструкцій.

Об'єкт дослідження – технологічні процеси виробництва трьох видів фасадів меблевих стінок кухонних з бездефектних брусків з деревини твердих листяних порід (меблевих дверей) різних конструкцій.

Предмет дослідження – порівняльний аналіз виробництва трьох видів фасадів меблевих стінок кухонних з бездефектних брусків з деревини твердих листяних порід (дверей) різних конструкцій.

Завдання досліджень:

1. Зробити аналіз стану питання та проаналізувати фасади меблевих дверей корпусних виробів. Розробити конструкції фасадних меблевих дверей та розрахувати матеріали для здійснення досліджень трьох варіантів фасадних дверей.

2. Розробити методику порівняльних досліджень технологічних процесів отримання меблевих дверей, що мають різні складові та комплектуючі елементи

3. Запропонувати технологічні операції під час створення фасадних меблевих дверей прийнятого різновиду досліджень. Підібрати сучасне обладнання для здійснення технологічних операцій під час створення фасадних меблевих дверей прийнятого різновиду досліджень.

4. Розробити технологічні маршрути та побудувати плани цехів з підбором прийнятого устаткування для створення трьох різновидів фасадних дверей

5. Розрахувати прийняте обладнання та устаткування та зробити його аналіз вартістю для створення трьох різновидів фасадних меблевих дверей.

6. Зробити порівняльний аналіз технологічних процесів та вибрати раціональний різновид із створення фасадних меблевих дверей прийнятої конструкції.

7. Розрахувати показники економічної ефективності для всіх різновидів вибрати варіант, що є найбільш рентабельним, тобто з найменшим терміном окупності інвестиційних витрат.

Матеріали, технології, обладнання та методика досліджень. Методика порівняльних досліджень технологічних процесів отримання меблевих дверей, що мають різні складові та комплектуючі елементи включає: Розроблення трьох конструкцій меблевих фасадних дверей; Розроблення технологічних процесів для кожного варіанту меблевих фасадних дверей; Розрахунок прийнятого обладнання та устаткування та його аналіз кількістю та за ціною для створення трьох різновидів фасадних меблевих дверей; Підбір кількості виробничого персоналу та аналіз чисельності для створення трьох різновидів фасадних меблевих дверей; Вибір раціонального технологічного процесу виготовлення меблевих дверей різних конструкцій, при чому з врахуванням потужності, персоналу, затрат на енергію.

Для здійснення порівняльних досліджень з виготовлення фасадних меблевих дверей прийняти три різних конструктивних різновиди меблевих дверей – фасадів меблевих стінок кухонних з бездефектних брусків з деревини твердих листяних порід з річною приведеною програмою 12 тис. шт. (рис. 1.)

Проаналізуємо три конструкції фасадних меблевих дверей:

1. меблевий фасад під назвою рамково-скляний (1.МФР-С)
2. меблевий фасад під назвою рамково-тахлевий (2.МФР-Т)
3. меблевий фасад під назвою щитовий (меблевий щит) (3.МФМЩ)

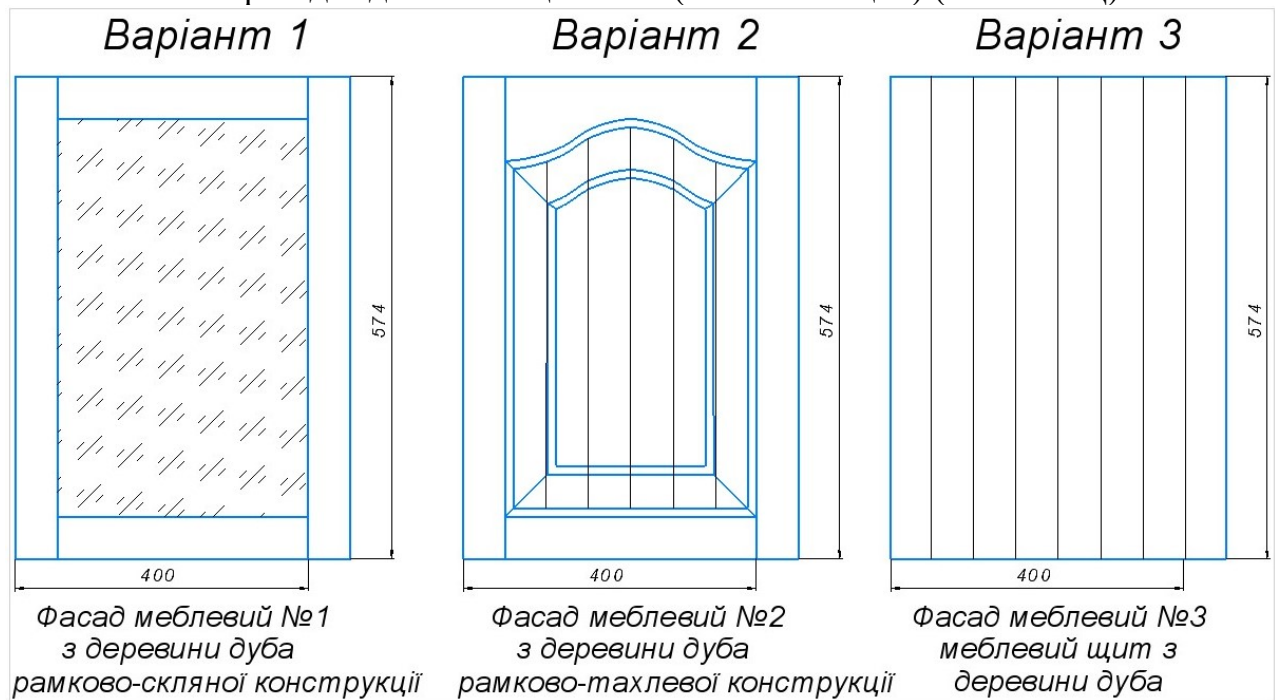


Рис. 1. Форми фасадних меблевих дверей для дослідження

Конструктивні особливості прийнятих для розроблення технологічних процесів полягають у наступному: 1. меблевий фасад під назвою рамково-скляний (1.МФР-С) – рамка з бездефектних брусків, а внутрішній конструктивний елемент зі скла товщиною 3-5 мм; 2. меблевий фасад під назвою рамково-тахлевий (2.МФР-Т) – рамка з бездефектних брусків, а внутрішній конструктивний елемент з меблевого щита з відповідною товщиною; 3. меблевий фасад під назвою щитовий (3.МФМЩ) – конструктивний елемент дверей повністю з меблевого щита з відповідною товщиною.

Сьогодні фасади корпусних меблів можна робити за різними технологіями, але типові технології під час створення фасадних меблевих дверей все одно включають такі технологічні операції, які залежать від конструктивних особливостей фасадних поверхонь: Вхідний контроль матеріалів, фурнітури, покупних матеріалів та комплектуючих; Аналіз конструкцій, що визначає підбирання заготовок деревних порід; Розкрій на дошки на відрізки дощок певної кратної довжини на заготовки; Торцювання за довжиною на кратні чорнові меблеві заготовки.; Фрезерування двобічне за товщиною або чотирибічне за пе-

перізом; Формування шипів з використанням фрези відповідного профілю; Підбір рейок, без-дефектних відрізків за текстурою; Склеювання в щити відповідних розмірів. Технологічна витримка ; Формування тахель у ваймах чи пресах з наступним фрезеруванням за контуром; Складання рамково-тахлевих дверей, тобто фасадів.; Складання рамок у ваймах чи пресах з точною фіксацією прямих кутів на з'єднаннях; Фрезерування рамок за контуром після технологічної витримки.; Складання рамко-скляних меблевих фасадів з використання декоративних шпунків або з використання дерев'яних штапиків ; Форматні меблеві щити проходять розкроювання на відповідні розміри.; Отримані заготовки – Фасади з меблевого щита обробляються за контуром з використанням фрези відповідного профілю; В-т для шліфування всіх видів фасадів різним відповідним устаткуванням, але в основному пелюстковим інструментом; Контроль якості фасадів меблевих дверей певної конструкції з листяних порід; Виконання присадки отворів, під чашки завіс, під ручки, тощо; Виконання опорядження; Складування та пакування отриманої продукції фасадів меблевих дверей певної конструкції з листяних порід на відведені місця.

Таким чином, розроблено методику для порівняння технологічних процесів під час створення фасадних меблевих дверей, що мають різні складові та комплектуючі елементи; підібрано матеріали для створення трьох конструкцій меблевих фасадів для здійснення порівняльних досліджень; проаналізовано типовий технологічний процес для виготовлення фасадних меблевих дверей.

Результати досліджень та обговорення. Результати підбору матеріалів та його розрахунку зі створення меблевих дверей наведені у табл. 1.

Таблиця 1. Розрахунок матеріалів для трьох фасадів

	Тип вхідного матеріалу	Позначення	Ціна комплектуючих	Комплект	Затрати на програму 12000 шт	Річні затрати в тисячах грн.
B1	П/м тв.лист.п.	м3	14350,00	0,0077	92,04	1320,80
B1	Йоват ПВА, D-3	кг	134,00	0,0880	1056,00	141,50
B1	Шліфувальня шкурка	м2	85,00	0,0141	168,97	14,36
B1	Штапик гнучкий 6 мм	шт	48,00	1,0100	12120,00	581,76
B1	Тахля склянна, 4 мм	шт	90,00	1,0100	12120,00	1090,12
	ПІДСУМОК МФР-С				25557,02	3149,23
B2	П/м тверд. лис. порід	м3	14350,00	0,0077	92,0424	1320,80
B2	Йоват ПВА, D-3	кг	134,00	0,0880	1056,00	141,50
B2	Шліфувальня шкурка	м2	85,00	0,0141	168,97	14,36
B2	Тахля	м3	23500,00	0,0038	45,43	1067,75
	ПІДСУМОК МФР-Т				1362,45	2544,43
B3	Меблевий щит, 24	м3	23500, 00	0,0059	71,02	1669,10
B3	Шліфувальня шкурка	м2	85,00	0,0061	72,85	6,19
	ПІДСУМОК МФМЩ					1675,29

Результати підбору обладнання та його розрахунок для створення трьох Різновидів фасадних меблевих дверей різних прийнятих конструкцій подані та представлені у табл. 2.

Таблиця 2. Моделі верстатів для трьох технологій

№	Назва обладнання	Варіант 1.МФР-С	Варіант 2.МФР-Т	Варіант 3.МФМЩ
1	В-т форматно-розкрійний		Unica-4	Unica-4
2	В-т торцювальний	GR-960	GR-960	
3	В-т чотирибічний	G230-5U	G230-5U	
4	В-т шипорізний	GAT-180	GAT-180	
5	Вайма складальна	GSA	GSA	
6	В-т обробний центр	CNC353	CNC353	CNC353
7	В-т шліфувальний	GS-B	GS-B	GS-B
	Всього одиниць	6	7	3

Порівняльний аналіз завантаженості підбраного обладнання для виготовлення трьох фасадних дверок у кількості 12000 штук наведено на рис. 2.

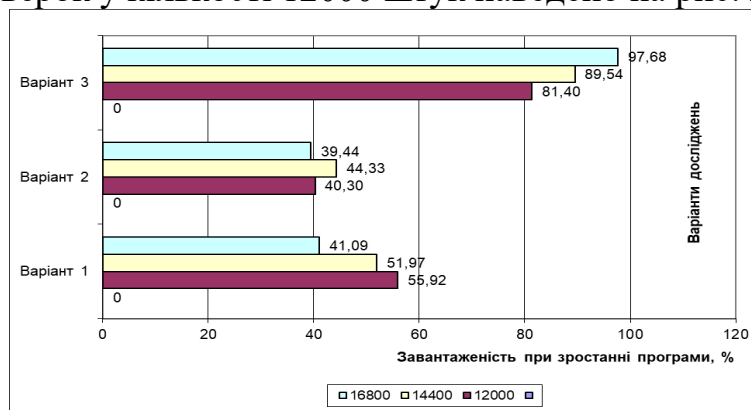


Рис. 2. Лінійна номограма порівняльного аналізу завантаженості обладнання для виготовлення трьох конструкцій фасадів.

Підбір технологічних операцій та оформлення технологічних маршрутів для створення трьох різновидів фасадних меблевих дверок подано на рис. 3-5.

Технологічний маршрут виготовлення меблевих дверки Фасад1 Рамка-скло (B1)														1.МФР-С
Назва меблевого фасаду	Позначення по специфікації	Кількість	Розміри			РМ	GR-960	G230-5U	GAT-180	GSA	CNC353	GS-B	Р.М.	Р.М.
			Матеріал	Д	Ш	Т								
1.МФР-С	01.00.00	1	Дуб	574	52	24	○	○	○	○	○	○	○	○

Рис. 3. Технологічний маршрут на створення фасаду №1Рамка-скло

Технологічний маршрут виготовлення двері Фасад2 Рамка-тахля (B2)															2.МФР-Т	
Назва складальної одиниці	Позначення по специфікації	Кількість	Розміри			РМ	Unica-4	GR-960	G230-5U	GAT-180	CNC353	GSA	CNC353	GS-B	P.M.	P.M.
			Д	Ш	Т											
2.МФР-Т	01.00.00	1	Дуб	574	400	24	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

Рис. 4. Технологічний маршрут на створення фасаду №2Рамка-тахля

Технологічний маршрут виготовлення дверей Фасад МЩ (B3)														
Назва складальної одиниці	Позначення по специфікації	Кількість	Розміри			РМ	Unica-4	CNC353	GS-B	Р.М.	Р.М.			
			Д	Ш	Т	Вхідний контроль	розкроїти МЩ	Фрезерувати контур	Шліфувати	Контроль якості	Комплектувати, пакувати та здати на склад дільниці			
3.МФМЩ														
Меб. Щит	01.00.00.	1	МЩ	574	400	24	○	○	○	○	○	○	○	

Рис. 5. Технологічний маршрут на створення фасадну №3МЩ

Побудова планів цехів з підбором прийнятого устаткування для створення трьох різновидів фасадних меблевих дверок представлено на рис. 6-8.

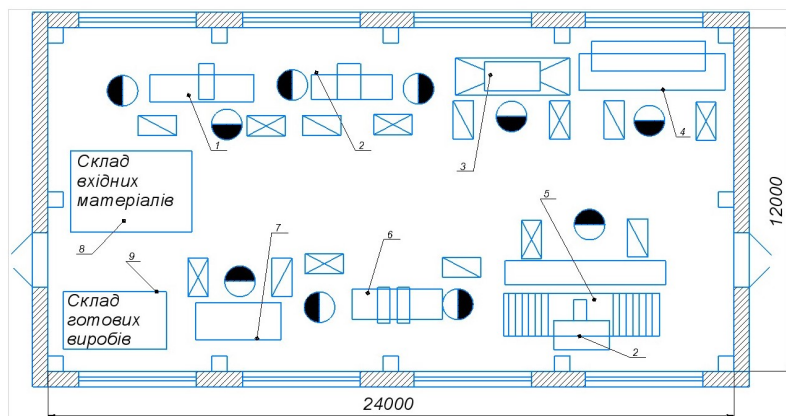


Рис. 6. Планування цеху зі створення фасаду №1 Рамка-скло

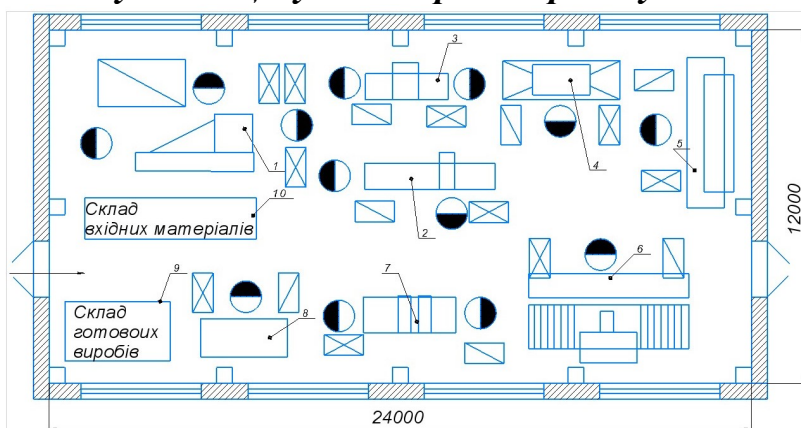


Рис. 7. Планування цеху зі створення фасаду №2 Рамка-тахля

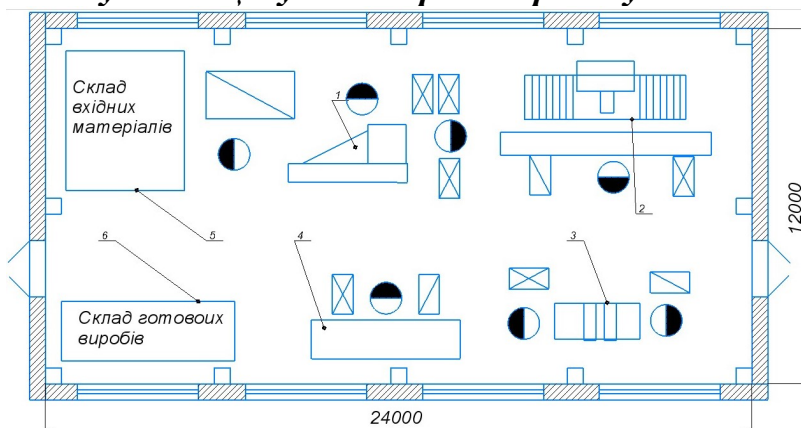


Рис. 8. Планування цеху зі створення фасаду №3 МЩ

Потужність прийнятого обладнання цехів для порівняння під час створення трьох Різновидів фасадних меблевих дверей подана на рис. 9.

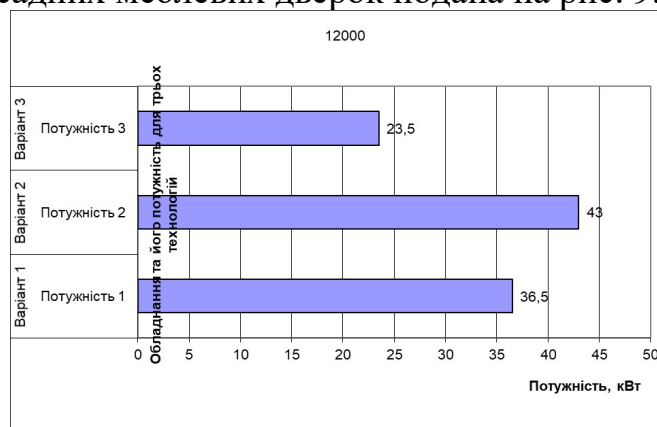


Рис. 9. Аналіз потужності обладнання кожного цеху

Під обладнання та устаткування за ціною та аналіз загальної вартості для створення трьох різновидів меблевих дверей представлений на рис. 10.

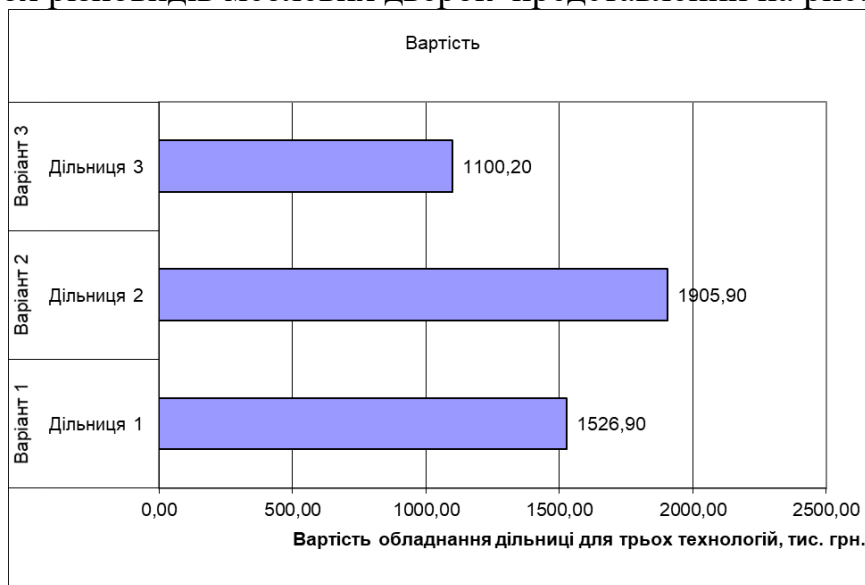


Рис. 10. Сукупна вартість обладнання цеху та аналіз затрат на нього для кожної технології виготовлення меблевих дверей

Вибір оптимального технологічного процесу створення фасадних меблевих дверей за результатами часткових економічних ефективностей поданий на рис. 11.

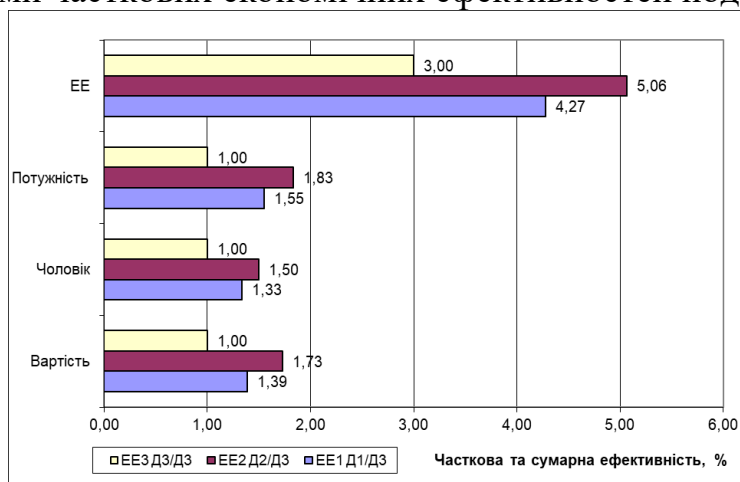


Рис. 11. Вибір оптимального технологічного процесу створення фасадних дверей за результатами часткових економічних ефективностей

Таблиця 3. Підсумковий та загальний кошторис

Статті	Різнovid №1	Різнovid №2	Різнovid №3
Прямі витрати	3527,14	2849,77	1876,33
Зарплата основних робітників	1651,20	1857,60	1238,40
Відрахування на страхування	363,26	408,67	272,45
Розподілені витрати	2589,01	2798,34	2353,33
Виробнича собівартість	8130,62	7914,38	5740,51
Витрати операційні	1244,76	1455,96	1017,72
Повна собівартість	9375,38	9370,34	6758,23
Прибуток	1687,57	1686,66	1216,48
Ціна без ПДВ	11062,94	11057,00	7974,71

Результати економічного обґрунтування вибору варіанту виробничого процесу за показником економічної ефективності – діленням прибутку на затрати. Кошторис виробничої собівартості розраховано та подано для трьох у табл. 3

Отже, найбільшими є витрати за першим та другим різновидами (виготовлення рамково-скляних та рамково-тахлевих дверей), найменші витрати будуть у третьому різновиді (двері з меблевого щита), рис. 12.

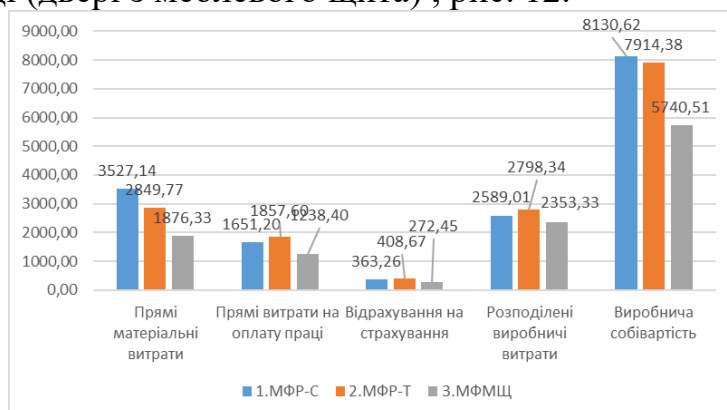


Рис. 12. Порівняльна структура виробничої собівартості виготовлення фасадів для кухонних меблів трьома різновидами

Визначимо показник економічної ефективності інвестиційних вкладень та термін окупності інвестицій за різновидами. Інвестиціями будуть служити витрати на закупівлю обладнання, матеріальні затрати на сировину та комплектуючі та на будівництво цеху табл. 4.

Таблиця 4. Визначення терміну окупності варіантів

ЕЕ	Прибуток	Вартість обладнання	Вартість матеріалів	Вартість будівлі	Сума	%	Термін окупності
1	1687,57	1832,28	3527,14	1600,00	6959,42	0,242	4,12
2	1686,66	2287,08	2849,77	1600,00	6736,85	0,250	3,99
3	1216,48	1320,24	1876,33	1600,00	4796,57	0,254	3,94

Запропонований для порівняння Різновид №1 $E1 = 1687,57 / 6959,42 = 0,29$, Термін окупності для першого Різновиду $Ток1 = 1 / 0,242 = 4,12$ року. Запропонований для порівняння Різновид №2 $E = 1686,66 / 6736,85 = 0,25$, Термін окупності для другого Різновиду $Ток2 = 1 / 0,25 = 3,99$ року. Запропонований для порівняння Різновид №3 $E = 1216,48 / 4796,57 = 0,254$, Термін окупності для третього Різновиду $Ток3 = 1 / 0,254 = 3,94$ року. Таким чином, найкраще, тобто найвище значення показника економічної ефективності ЕЕ – за 3 (третім) Різновидом інвестиційних затрат та вкладень. Маємо, що термін окупності за цим Різновидом становить 3,94 року. Таким чином, маємо наступне, що Різновид виготовлення дверних меблевих фасадів із меблевого щита є найбільш рентабельним, тобто ефективним до впровадження у виробництво, так як він має: найменшу тобто найнижку собівартість серед усіх трьох Різновидів ($6758,23 / 12000 = 563,19$ грн.); прийнятну, тобто найменшу ціну ($7974,71 / 12000 = 664,60$ грн.); найменші капіталовкладення ($4796,57$ тис. грн.); найменший термін окупності інвестиційних витрат – **3,94** року.

Висновки.

1. Зроблено аналіз стану питання проаналізовано фасади меблевих дверей корпусних виробів. Проаналізовано конструктивні складові для створення фасадних меблевих дверей. Розроблено конструкції фасадних меблевих дверей для здійснення досліджень. Підібрано та розраховано сучасні матеріали для створення трьох варіантів фасадних меблевих дверей.

2. Розроблено методику порівняльних досліджень технологічних процесів отримання меблевих дверей, що мають різні складові та комплектуючі елементи

3. Запропоновано технологічні операції під час створення фасадних меблевих дверей прийнятого різновиду досліджень. Підібрано сучасне обладнання для здійснення технологічних операцій під час створення фасадних меблевих дверей прийнятого різновиду досліджень.

4. Розроблено технологічні маршрути та побудовано плани цехів з підбором прийнятого устаткування для створення трьох різновидів фасадних дверей. Розраховано прийняте обладнання та зроблено його аналіз з врахуванням завантаженості та обслуговуючого персоналу на робочих місцях. Зроблено порівняльний аналіз технологічних процесів та вибрано раціональний різновид із створення фасадних меблевих дверей прийнятої конструкції. Розраховано пока-

знижки економічної ефективності для всіх різновидів під час виготовлення фасадних меблевих дверей та підтверджено раціональний цифровими показниками.

5. Встановлено, що варіант виготовлення дверних меблевих фасадів із меблевого щита є найбільш рентабельним, тобто ефективним до впровадження у виробництво, так як він має: найменшу тобто найнижчу собівартість серед усіх трьох різновидів ($6758,23/12000 = 563,19$ грн.); прийнятну, тобто найменшу ціну ($7974,71/12000 = 664,60$ грн.); найменші капіталовкладення (4796,57 тис. грн.); найменший термін окупності інвестиційних витрат – 3,94 року.

References

1. **Voytovych I.G.** [2010]: *Osnovy tekhnolohiyi vyrobiv z derevyny* [Fundamentals of wood products technology]. – Lviv: Country of Angels, 305 p. (in Ukrainian).
2. **Dyachun Z.J.** [2007]: *Konstruyuvannya mebliv: Korpusni vyroby* [Furniture design: Cabinet products]: – Kyiv: Mohyla Academy House, 387 p. (in Ukrainian).
3. **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>
4. **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>
5. **Gayda S.V.** (2020) : Аналіз конструкцій та технологій виготовлення сучасних меблевих фасадів / *Analiz konstruktsiy ta tekhnolohiy vyhotovlennya suchasnykh meblevykh fasadiv* [Analysis of structures and technologies of manufacture of modern furniture facades]. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 46:54-64 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42204606>
6. **Gayda S.V., Petryshak I.V., Somar G.V.** (2020) : Дослідження впливу породи та режимів шліфування на питому продуктивність шліфувальної шкурки / *Doslidzhennya vplyvu porody ta rezhymiv shlifuvannya na pytomu produktyvnist' shlifival'noyi shkurky* [Study of the influence of breed and grinding modes on the specific productivity of grinding skin]. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 46:5-15 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42204601>
7. **Gayda S.V., Voytovych I.G., Orikhovskyy R.Ya.** (2020) : Дослідження технологічних процесів виготовлення ніжок столів обідніх різних конструкцій / *Doslidzhennya tekhnolohichnykh protsesiv vyhotovlennya nizhok stoliv obidnikh riznykh konstruktsiy* [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>
8. **Gayda S.V., Grytsak S.A.** (2020) : Порівняльний аналіз фізико-механічних характеристик гнутих елементів із різних порід дерев / *Porivnyal'nyy analiz fizyko-mekhanichnykh kharakterystyk hnutykh elementiv iz riznykh porid derev* [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>
9. **Gayda S.V., Bilyy Ya.M.** (2019): Дослідження технологічних процесів виготовлення ліжок двоспальних різних конструкцій / *Doslidzhennya tekhnolohichnykh protsesiv vyhotovlennya lizhok dvospal'nykh riznykh konstruktsiy* [A investigation of technological processes of making beds of double different designs]. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 45:21-31 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42194504>
10. **Gayda S.V.** (2019): Визначення та порівняння властивостей вживаної деревини основних хвойних порід / *Vyznachennya ta porivnyannya vlastyvostey vzhivanoyi derevyny osnovnykh khvoynykh porid* [A determination and comparison of properties of post-consumer wood of the basic conifers]. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 45:38-49 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42194506>
11. **Gayda S.V.** (2018): Дослідження та аналіз характеристик щитових конструкцій із вживаної деревини / *Doslidzhennya ta analiz kharakterystyk shchytovykh konstruktsiy iz vzhivanoyi derevyny* [A investigation and analysis of characteristics of solid furniture boards made of post-consumer wood]. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 44:14-24 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42184402>

12. **Gayda S.V.** (2018): Технологія МДФ-фасадів / *Tekhnolohiyi MDF-Fasadiv* [MDF Facade Technologies]. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 44:70-83 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42184410>
13. **Gayda S.V., Voytovych I.G.** (2017): Дослідження міцності та стійкості елементів гратчастих меблевих виробів із вживаної деревини / *Doslidzhennya mitsnosti ta stiykosti elementiv gratchastykh meblevykh vyrobiv iz vzhivanyoi derevyny* [Durability and stability of elements for beam furniture products made from post-consumer wood are investigated]. Bulletin of KhNTUA 189:62-70 (in Ukrainian).
14. **Gayda S.V.** (2017): A technology and properties of furniture board made of post-consumer wood. Actual problems of forest complex 48:34-38 (in Russian).
15. **Gayda S.V.** (2016): *Ekologo-tekhnologicheskiye aspekty pererabotki vtorichno ispol'zuyemoy drevesiny dlya proizvodstva pressovannykh materialov* [Ecological and technological aspects of recycling post-consumer wood for production compacted materials]. *Lesnoy vestnik / Forestry bulletin of MSFU* 20(3):15-22 (in Russian).
16. **Gayda S.V.** (2016): Технологічні підходи до поверхневого очищення вживаної деревини голкофрезерним інструментом / *Tekhnolohichni pidkhody do poverkhnevoho ochyshchennya vzhivanyoi derevyny holkofrezernym instrumentom* [Technological approaches to cleaning of surface of post-consumer wood of needle-milling tools]. Bulletin of KhNTUA 178:3-11 (in Ukrainian).
17. **Gayda S.V., Ya.M. Bilyy** (2016): Дослідження формостійкості клеєних щитів із вживаної деревини / *Doslidzhennya formostiystosti kleyenykh shchytiv iz vzhivanyoi derevyny* [The investigation of the shape stability of glued panels made of post-consumer wood]. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 42: 69-79 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42164211>
18. **Gayda, S.V., Maksymiv, V.M.** (2007): Аналіз, особливості, проблеми та досвід використання додаткових ресурсів сировини – відходів та вживаної деревини / *Analiz, osoblyvosti, problemy ta dosvid vykorystannya dodatkovykh resursiv syrovyny – vidkhodiv ta vzhivanyoi derevyny* [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).
19. **Gayda S.V.** (2016): A investigation of form of stability of variously designed blockboards made of post-consumer wood. *ProLigno* 12(1):22-31.
20. **Gayda S.V.** (2015): *Tekhnologii i fiziko-mekhanichni vlastivosti stolyarnikh plit iz vzhivanyoi derevini* [Technology and physical and mechanical properties blockboard made of post-consumer wood]. *Technical service of agriculture, forestry and transport systems* 3(1):145-152 (in Ukrainian).
21. **Gayda S.V.** (2013): Основи формування класифікатора вторинних деревинних ресурсів / *Osnovy formuvannya klasyfikatora vtorynnykh derevynnykh resursiv* [Bases of secondary wood resources classifier formation]. *Scientific Works of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine* 11:208-215 (in Ukrainian).
22. **Gayda S.V.** (2011): Вживана деревина – додатковий ресурс сировини / *Vzhyvana derevyna – dodatkovyy resurs syrovyny* [Recovered wood is additional resource of raw material]. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 37(1): 238-244 (in Ukrainian).
23. **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).
24. **Gayda S.V., Kshyvetskyu B.Ya., Voytovych I.G., Prokopovych B.V.** (2002): Тлумачний словник з деревооброблення / *Tlumachnyy slovnyk z derevoobroblennya* [Explanatory dictionary from Woodworking]. Lviv: UNFU. – 280 p. (in Ukrainian).
25. **Gayda S.V.** (2018). Strength of combined blockboard made of post-consumer wood (PCW). Bulletin of KhNTUA 197:3-9, (in Ukrainian).
26. **Gayda S.V.** (2013). Resource-saving technologies of recycling of post-consumer wood]. *Scientific Bulletin of NULES of Ukraine: Technology and Energy of agroindustrial complex* 185(2):271-280, (in Ukrainian).
27. **Zayats I.M.** (1995): *Tekhnolohiya vyrobiv z derevyny* [Technology of wood products]: Kyiv, 1995. (in Ukrainian).
28. **Gayda S.V.** (2011). Recycled of post-consumer wood is for the production of particleboard in Ukraine / *Proceedings of the XXI International symposium Adhesives in Woodworking Industry* (Slovakia, Zvolen June 29 – July 01. 2011). TU Zvolen. – P. 108-121.

29. **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.
30. **Gayda S.V.** (2013). Розроблення технології виробництва паливних гранул на основі енергетичного потенціалу вживаної деревини (Development of technology for the production of fuel pellets based on the energy potential of used wood). Scientific Bulletin UNFU 23.14:83-93. (in Ukr).
31. **Gayda S.V.** (2014). *Teoreticheskoye obosnovaniye podkhoda po prognozirovaniyu prochnosti drevesnostruzhechnykh плит iz vtorichno ispol'zuyemoy drevesiny* (The theoretical rationale for the approach on the prediction the strength of particleboard from recycled wood). *Actual problems of forest complex* 38:212-216 (in Russian).
32. **Gayda S.V., Kiyko O.A.** (2018). Shape stability as a quality criterion for PCW-made blockboards. Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, 17, 185-192. <https://doi.org/10.15421/411834> (in Ukrainian)
33. **Gayda S.V.** (2015). Modeling properties of blockboards made of post-consumer wood on the basis of the finite element method. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry, 41, 39-49. <https://doi.org/10.36930/42154106>
34. **Gayda S.V.** (2016). Research on physical and mechanical characteristics of front blockboards made from post-consumer wood (Дослідження фізико-механічних характеристик фасадних стільнярних плит із вживаної деревини). *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 42: 33-50.
35. **Gayda S.V.** (2016). Технологічні підходи до поверхневого очищення вживаної деревини голкофрезерним інструментом / *Tekhnologichni pidkhody do poverkhnevoho ochyshchennya vzhuvanoyi derevyiny holkofrezernym instrumentom* (Technological approaches to cleaning of surface of post-consumer wood of needle-milling tools). Bulletin of KhNTUA 178:3-11(in Ukrainian).
36. **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).
37. **Gayda S.V., Kiyko O.A.** (2021). Властивості вживаної деревини як визначальний чинник якості меблевих виробів / *Vlastyvosti vzhuvanoyi derevyiny yak vyznachal'nyy chynnyk yakosti meblevykh vyrobiv* (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). <https://doi.org/10.15421/412135>

UDC 684.416.2

**Prof. S.V. Gayda, Doctor of Sciences; asist. M.M. Ilkiv;
master's student D.B. Savka – UNFU**

Research of technological processes of manufacture of meble facades from solid wood

The analysis of a condition of a question is made the facades of furniture doors of case products are analyzed. Structural components for the creation of facade furniture doors are analyzed. Designs of front furniture doors for research are developed. Modern materials for selection of three variants of facade furniture doors are selected and calculated. A method of comparative research of technological processes of obtaining furniture doors with different components and components has been developed. Technological operations during creation of front furniture doors of the accepted kind of researches are offered. Modern equipment for technological operations during the creation of facade furniture doors of the accepted type of research has been selected. Technological routes have been developed and plans of shops with selection of the accepted equipment for creation of three Varieties of front doors are constructed. The accepted equipment is calculated and its analysis by price is made and the total cost for creation of three Varieties of front furniture doors is analyzed. Production staff was selected and their number was analyzed to create three types of facade furniture doors. The comparative analysis of technological processes is made and the rational Variety on creation of front furniture doors of the accepted design is chosen. The indicators of economic efficiency for all Varieties in the manufacture of facade doors are calculated and confirmed by rational numerical indicators. It is established that the option of making door furniture facades from a furniture board is the most cost-effective, ie effective for implementation in production, as it has: the lowest or lowest cost among all three Different types ($6758.23 / 12000 = 563.19$ UAH.); acceptable, ie the lowest price ($7974.71 / 12000 =$ UAH 664.60); the smallest investments (4796.57 thousand UAH); the minimum payback period of investment costs is 3.94 years.

Keywords: furniture facade, furniture board, technologies, assembly, gluing, frame-and-tile constructions, wood products, technological processes.

**ВЖИВАНА ДЕРЕВИНА – ДОДАТКОВИЙ РЕЗЕРВ СИРОВИНИ ДЛЯ
КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ** doi: <https://doi.org/10.36930/42214706>

Обґрунтовано, що ВЖД є альтернативним додатковим ресурсом сировини за умови утилізації та перероблення її на конструкційні матеріали для використання у технологічних процесах деревообробки, виготовлення меблів та інших виробів з деревини. З'ясовано основну проблему перероблення вживаної деревини – брак ресурсоощадних та екологобезпечних технологій з практичними рекомендаціями щодо використання ВЖД в деревообробці. Обґрунтовано необхідність створення класифікації вживаної деревини, що дасть можливість здійснювати облік, ідентифікацію, прогнозувати обсяги утворення та передбачати потенційний резерв для виготовлення нових виробів з деревини. Зроблено детальний огляд та ґрунтовний аналіз для визначення принципів класифікації вживаної деревини. Обґрунтовано, що перспективним напрямом матеріального використання вживаної деревини може стати виробництво конструкційних матеріалів, зокрема столярних плит, що є актуальною та малодослідженою проблемою. Обґрунтовано, що вживана деревина може перероблятися на розмірно-придатні заготовки, що є основою для виготовлення столярних щитів та столярних плит різних конструкцій. Встановлено, що розроблення шляхів використання, класифікації вживаної деревини, ресурсоощадної та екологобезпечної технології з практичними рекомендаціями щодо використання ВЖД в деревообробці дасть можливість суттєво економити первинні сировинні ресурси. З'ясовано, що проблема пошуку раціонального варіанта перероблення ВЖД на розмірно-придатні заготовки для столярних плит є актуальною, а для її реального вирішення необхідно розробити суттєві кроки щодо класифікації ВЖД за ступенем забруднення, що є визначальним для виробництва якісної продукції. Обґрунтовано основні стратегічні шляхи використання ВЖД, які лягли в основу розробленої концепції за такими напрямками: матеріальне та енергетичне використання, перетворення та складування. Розроблено стратегію використання ВЖД з дотриманням алгоритму покрокової процедури матеріального перероблення, який базується на систематизації ВЖД за категоріями, класифікації за забрудненням, концепції утилізації шляхом перероблення на розмірно-придатні заготовки та конструкційні матеріали.

Ключові слова: вживана деревина, класифікація, потенціал, перероблення, столярна плита, використання, енергія, конструкційні матеріали, меблевий щит, прогнозування.

Проблема та актуальність досліджень. Вживана деревина (ВЖД) є ресурсною базою деревинної сировини, що не використовується, її запаси збільшуються із збільшенням розвитку господарств та деревооброблювальної галузі. Дослідження вітчизняних та зарубіжних вчених із зазначеної проблеми стосуються, в основному, використання виробничих деревних відходів, без залучення ВЖД до процесу перероблення – виготовлення виробів з неї.

Вживана деревина – це «спожита» деревина та будь-які вироби з неї, які утворюються у процесі виробництва та життєдіяльності людини, що не мають свого подальшого призначення за місцем утворення і підлягають переробленню з метою забезпечення захисту довкілля і здоров'я людей або з метою повторного їх залучення у господарську діяльність як матеріально-сировинних та енергетичних ресурсів [1, с. 239]. Так, відходи виробництва меблів і деревинних композиційних матеріалів, крім лігноцелюлозного матеріалу, містять клей, лак, плівки та інші забруднювачі тощо у кількості 5-20 % [13, с. 35].

¹ Медвідь Любомир Володимирович, аспірант кафедри технології меблів і виробів з деревини. Національний лісо-технічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103. м. Львів, 79057, Україна. Тел.: 032-238-45-04, +38-093-494-50-13. E-mail: lyubomyr.medvid@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6654-9348>

Наслідки від нестачі первинної сировини вже протягом кількох десятиків років чітко проявляються в динаміці структури собівартості кінцевої продукції. Якщо ще на початку III тисячоліття левову частку виробничих витрат у виробництві виробів з деревини становили енерговитрати, то тепер їх майже наздогнала вартість деревинних сировинних ресурсів. Рятуючись від дефіциту первинної деревини, деревообробні підприємства не тільки приходять на нові ринки, а й віднаходять вторинні ресурси інноваційного характеру, зокрема ВЖД [4, с. 122, 9, с. 70, 12, с. 62, 14, с. 123]. Поводження із вживаною деревиною, в цілому, та відповідними системами господарювання з цим ресурсом, зокрема, можна проаналізувати різними способами за результатами фактичної діяльності.

Сьогодні у Європейському Союзі 1 березня 2003 року прийнятий нормативний документ «AltholzV» [4, с. 3302], який забороняє вивезення на звалище екологічно сумнівних та шкідливих ресурсів, та зобов'язує виробників виробів з деревини думати про майбутню утилізацію виробів, у яких закінчиться термін експлуатації. Деякі великі проекти провідних асоціацій Європи, що обговорюють та пропонують вирішення проблеми утилізації вживаної деревини, були нещодавно завершені, зокрема такі, як: COST European Cooperation in the field of Scientific and Technical Research; WRAP Waste & Resources Action Programme; TRADA Timber Research and Development Association. Вперше була зроблена оцінка щорічного обсягу ВЖД в 20 з 22 країн-членів ЄС, що склав приблизно 30 млн. тонн ВЖД. Ця кількість ВЖД відповідає приблизно 13 % річного споживання лісу в 227 млн. тонн для цих країн, та становить близько 444 ПДж/рік або 0,66 % споживання первинної енергії 67000 ПДж/рік [11, с. 63].

Проблема дослідження: відсутність стратегічних напрямів перероблення, основ класифікації вживаної деревини, а, головне, ресурсоощадних та екологобезпечних технологій з практичними рекомендаціями щодо використання ВЖД. Часткове вирішення даної проблеми дасть можливість забезпечити галузі деревооброблення альтернативним додатковим ресурсом шляхом перероблення ВЖД на вироби: заготовки, меблевий щит, столярну плиту. На початку III тисячоліття людство планети суттєво задумалось над екологічними проблемами. Ці виклики також стосуються лісових ресурсів, деревообробних та меблевих галузей, вторинних деревинних резервів сировини, післяпродукційних відходів, залишків деревини основного виробництва, твердих побутових відходів і так далі. Додатковим, незадіяним резервом деревинної сировини в Україні є вживана деревина (ВЖД), «щорічні потенційні обсяги якої становлять близько 2 млн. тон» [1, с. 241]. У більшості країн Європи питання використання ВЖД частково вирішені. Тому, промислове використання деревних відходів та вживаної деревини є не тільки значним збільшенням сировинної бази для деревообробної галузі, але стане в найближчому часі необхідністю з екологічних міркувань [18, 19, 20-34].

Мета роботи – розроблення концепції використання вживаної деревини, створення основ класифікації вживаної деревини та обґрунтування матеріального перероблення її у виробництві конструкційних матеріалів, зокрема столярних плит з прогнозованими характеристиками. **Об'єкт дослідження** – вживана деревина як додатковий резерв сировини. **Предмет дослідження** – класифікація вживаної деревини, напрями використання та матеріальне перероблення її на столярні плити.

Аналіз літературних джерел. Дві проблеми – проблема сировини та проблема відходів є найактуальнішими в деревообробній промисловості світу, Європи та України, зокрема, на початку ХХІ ст. [9, с. 63]. Часткове вирішення останньої є раціональним та комплексним підходом до зменшення першої – проблеми сировини. Зростаючий попит на деревину для галузей деревообробки інколи підсилюється необхідністю виконання міжнародних зобов'язань щодо розвитку відновлювальних джерел енергії, що супроводжується жорсткою конкуренцією за деревинну сировину. З одного боку, труднощі, пов'язані з пошуком деревинної сировини, а також можливість настання її дефіциту, змушують підприємства деревообробної галузі ощадливіше і раціональніше її використовувати.

У такій ситуації необхідним є пошук і застосування інших джерел сировини, які би надали змогу покрити потреби в ній [4, с. 88]. З іншого боку, утворення значних обсягів різнотипних відходів, які особливо гостро постали перед усіма сферами світової економічної системи, зумовлюють необхідність їх обліку та безпечного зберігання, зменшення та повторного використання, перероблення та утилізації [5, с. 3304].

Існуючі технологічні процеси виробництва та споживання вирізняються дуже низьким рівнем замкнутості; нині лише 10-30 % сировинних матеріалів переходить у кінцеву продукцію, а 70-90 % перетворюється у відходи, які потребують шляхів перероблення та утилізації [9, с. 64, 3, с. 244]. Науковці Гайда С.В [7] та Войтович І.Г. [6, с. 33] стверджують, що від процесу заготівлі до одержання готових виробів з деревини утворюється 52-65 % відходів. Інші вчені Роженко В. та Балабуха С. [8, с. 99] стверджують, що деревинні відходи утворюються в обсязі 12 % від заготівлі, 35 % від лісопиляння, 48-52 % під час виробництва меблів, 30-35 % під час будівництва житла. Але, крім цих відходів, є ще муніципальні, лісопаркові дерева та вживана деревина. Важливість використання деревинних відходів зростає, якщо вони розглядаються як додатковий ресурс.

За специфікою всі відходи деревинного походження можна поділити на три основні типи [9, с. 64]. відходи лісозаготівель та лісосічні відходи – відходи в лісі та відходи з лісного складу; відходи післяпродукційні (виробничі), що створюються в процесі обробки деревини або виготовлення виробів. деревина після споживання (вживана деревина) – деревинні відходи, які утворилися внаслідок завершення терміну експлуатації.

Сьогодні невикористаною базою деревинної сировини та реально потенційним ресурсом, кількість якого збільшуються разом із розвитком обробних галузей, є запаси вживаної деревини (ВЖД) [2, с. 61, 9, с. 68]. Це деревина, а також дерев'яні вироби, які були частинами або елементами інших виробів, що вичерпали свій цикл споживання або термін експлуатації. До таких відходів належать, наприклад, розібрані або відремонтовані дерев'яні будівельні конструкції, тара (піддони, коробки), залізничні дерев'яні шпали, стовпи телеграфічні, вживані меблеві вироби та ін. [13, с. 35]. Вживана деревина (ВЖД) – це використана деревина та будь-які вироби з неї, які утворюються у процесі виробництва та життєдіяльності людини, що не мають свого подальшого призначення за місцем утворення і підлягають переробленню з метою забезпечення захисту довкілля і здоров'я людей або з метою повторного їх залучення у господарську діяльність як матеріально-сировинних та енергетичних ресурсів.

Відповідно до масштабного Європейського проекту COST Action E31 [4, с. 33, 11, с. 65] визначення «вживана деревина» тлумачиться наступним чином: “Recovered Wood (“post-consumer wood” or “post-use wood”) is demolished solid products biomass (examples: used construction biomass, used pallets biomass) and used products biomass that is going to be used in the same product for another purpose (example: used railway sleepers), generated from used solid wood products”. “The term Recovered Wood does not cover biomass in used solid wood products that is going to be used once more in a new setting (example: wooden chair), or biomass in intermediate solid wood products that is going to be used in new solid material products (example: used panel boards)”. Тобто, вживана деревина – це всі види деревинного матеріалу (деревинної біомаси), доступного після завершення існування первинного виробу. Облік здійснюється в місцях накопичення після використання виробів як мінімум в одному життєвому циклі.

Польські науковці Ratajczak E., Szostak A. та Wroblewska H., Cichy W. [14, с. 124] стверджують, що всі деревинні відходи треба ділити на чисті та забруднені. Чисті – це ті, які утворюються в процесі первинної обробки деревини: осердя від лущення, кора, тріска, обрізки, тирса, стружка від фрезерування, вживана деревина, а хімічно забруднені – всі композитні матеріали, оброблена деревина та вживана деревина, що має різні забруднювачі.

Вживана деревина та інші деревинні відходи створюють додатковий ринок сировини, а їх використання дає не тільки екологічну вигоду, але і значні економічні переваги над первинною деревиною [2, с. 62]. Сучасний підхід у країнах ЄС до матеріального та енергетичного менеджменту вживаної деревини стосується традиційних методів збирання та накопичення для перероблення на вироби, а не завезення на звалища, оскільки це марнотратство та велике навантаження на довкілля. Вчена Ratajczak E. [14, с. 125] вважає, що раціональне поводження з вторинними деревинними ресурсами має базуватися на каскадному використанні сировинної моделі – поетапному перевтіленню ресурсу на придатні вироби, якщо вироби непридатні – вони підлягають спалюванню.

Отже, промислове використання вживаної деревини є не тільки значним збільшенням сировинної бази для деревообробної галузі, але в найближчому часі стане необхідністю з екологічних міркувань. І лише запровадження належного законодавства у сфері використання відходів дало б змогу більш широко залучити їх у технологічні процеси, що в умовах малолісної та лісодефіцитної України має вагомое еколого-економічне значення. Таким чином, додатковим ресурсом та невикористаним існуючим обсягом деревинної сировини, є запаси ВЖД. Дана сировина, як потенційний ресурс деревинної маси, через відсутність технологічних розробок та практичних рекомендацій (від збирання до виготовлення розмірно-якісних заготовок для майбутніх виробів) не знайшла ще належного використання на деревообробних підприємствах України.

Залучення ВЖД для перероблення вимагає вирішення наступних проблем:

- розрахунок потенціалу вживаної деревини, як вторинного матеріалу;
- удосконалення баз даних про технічну, економічну, екологічну і статистичну інформацію про деревинні відходи;
- удосконалення системи збору, сортування та очищення;

- дослідження придатності окремих видів ВЖД для матеріального чи енергетичного використання;
- розроблення обладнання та технологій перероблення;
- впровадження необхідного законодавства з господарювання із додатковими ресурсами деревини, що зокрема вже функціонує в ЄС.

На сьогодні проведено значну дослідницьку роботу з можливості залучення ВЖД до перероблення в масивному (цілісному) вигляді в галузі деревообробки для виготовлення конструкційних матеріалів, зокрема для виготовлення столярних плит (СП). Однак тут на сьогодні є ще слабкі місця, а в деяких в дослідженнях проблема вивчена недостатньо. До таких напрямів варто віднести: розроблення систематизації ВЖД за категоріями та класифікатора ВЖД; прогнозування та оцінювання обсягів утворення ВЖД та балансу ВЖД за походженням; дослідження фізико-механічних властивостей ВЖД різного віку (терміну експлуатації); розроблення нових конструкцій СП із ВЖД; прогнозування характеристик СП із ВЖД різних конструкцій; дослідження фізико-механічних властивостей СП із ВЖД; розроблення раціональних варіантів сортування ВЖД; розроблення методів та режимних параметрів очищення ВЖД; прогнозування та розрахунку корисного виходу заготовок із ВЖД; розроблення технології перероблення ВЖД на розмірно-придатні заготовки; створення рекомендацій на всіх етапах перероблення.

Матеріали та методи досліджень. Дослідження спрямовані на повне вирішення питань поставлених в меті за темою реферату, тобто на основі запропонованої класифікації деревинних відходів розробити реальні шляхи поліпшення використання лісосировинних ресурсів та запропонувати напрямки і тенденції переробки вживаної деревини, зокрема для виготовлення конструкційних матеріалів – столярних плит із цього додаткового ресурсу.

Об'єктом дослідження є спожиті вироби, тобто вживана деревина — додаткова сировина для перероблення в деревообробній галузі.

Завдання досліджень включали:

- Детальний аналіз літературних джерел щодо вживаної деревини
- Обґрунтування характеристик вживаної деревини за категоріями
- Розроблення основ класифікації вживаної деревини
- Створення загальної концепції використання вживаної деревини
- Обґрунтування матеріального напрямку перероблення ВЖД на столярні плити.

Для вирішення всіх поставлених завдань необхідно було:

- підбирати відповідну літературу, опрацювати періодичні газети та журнали за вибраним напрямком досліджень.
- знаходити відповідні матеріали за допомогою інтернету.
- збирати необхідну інформацію з передових підприємств та відомств щодо утворення, накопичення, використання вживаної деревини.

Обґрунтування характеристик вживаної деревини. Додатковим та потенційним ресурсом та невикористаною базою деревинної сировини, запаси якої збільшуються в міру розвитку галузей та господарств, в цілому, є запаси вживаної деревини (ВЖД) [1, с. 238].

Вживана деревина (ВЖД) – використана деревина та будь-які вироби з неї, що утворюються у процесі виробництва (бракована, некондиційна продукція) та життєдіяльності людини (зіпсовані (пошкоджені) і неремонтоздатні або відпрацьовані, фізично або морально зношені вироби та матеріали, які втратили свої

споживчі властивості), внаслідок техногенних чи природних катастроф (явищ), що не мають свого подальшого призначення за місцем утворення і підлягають видаленню або переробленню з метою повторного їх залучення у господарську діяльність як матеріально-сировинних та енергетичних ресурсів для забезпечення захисту довкілля і здоров'я людей.

До вживаної деревини належать:

- залишки побутових речей, виробів, пакувальних матеріалів тощо;
- залишкова ВЖД всіх інших видів діяльності підприємств, установ, організацій і населення.
- залишки сировини, матеріалів, напівфабрикатів тощо, утворені під час виробництва продукції або виконання робіт, які цілком або частково втратили вихідні споживчі властивості (відходи виробництва);
- залишкові продукти лісівництва, лісозаготівель та забезпечення сільськогосподарського виробництва (зокрема рослинництва і тваринництва);
- бракована, некондиційна продукція усіх видів економічної діяльності або продукція, забруднена небезпечними речовинами і непридатна до використання;
- неідентифікована продукція, використання (експлуатація) якої може спричинити непередбачені наслідки;
- зіпсовані (пошкоджені) і неремонтоздатні або відпрацьовані, фізично або морально зношені вироби та матеріали, які втратили свої споживчі властивості (ВЖД споживання);

Продукція (виріб з деревини) – результат діяльності або виробничих процесів, що має корисні властивості та призначений для використання споживачем. Виріб з деревини – одиниця продукції, кількість якої обчислюють у штуках.

Бракований виріб з деревини – продукція, передавання якої споживачеві не допускається через наявність дефектів.

Некондиційний виріб з деревини – продукція, яка:

- не відповідає нормативним вимогам або непридатна для використання за призначенням внаслідок забруднення;
- не може бути регенерована або відновлена чи використана іншим способом за місцем її виробництва (утворення);
- підлягає обробленню (переробленню) у спеціалізованих підприємствах або продажу як вторинний матеріальний ресурс (сировина).

Неідентифікований виріб з деревини – продукція, яка не має відповідного до нормативних вимог маркування або для якої немає технічних специфікацій (стандартів, технічних умов) і використання (споживання, експлуатація) якої може спричинити непередбачені наслідки.

Зіпсований виріб з деревини – продукція: яка втратила свої функціональні та інші властивості, встановлені нормативними вимогами, до закінчення терміну служби (придатності); подальше використання якої за прямим призначенням може спричинити непередбачені наслідки.

Відпрацьований (спожитий) виріб з деревини – продукція: подальше використання якої за її прямим призначенням може спричинити непередбачені наслідки; яка у процесі експлуатації (споживання) втратила свої функціональні та інші властивості, встановлені нормативними вимогами, після закінчення терміну служби (придатності); яка у процесі експлуатації стала неремонтоздатною стосовно відновлення основних властивостей відповідно до нормативних вимог.

Тверді побутові відходи (ТПВ) – побутові відходи споживання, які утворюються та накопичуються мешканцями у житлових будинках, гуртожитках, установах громадського харчування, навчальних закладах, лікувальних, торговельних

закладах, адміністративних будинках, тимчасових об'єктах обслуговування населення, на цвинтарях та інших зонах діяльності людини. Муніципальні відходи (МВ) – ТПВ, великогабаритне сміття, великогабаритні дерев'яні конструкції, дерев'яні вироби з промислових об'єктів (підлоги та перекриття), з гідротехнічних споруд (мости, переправи, віадуки), від демонтажу (суден, вагонів, кузовів), деревина від пожеж, деревина від рекреаційних територій, обріз сухостійних дерев, гілок дерев і чагарників, та інше сміття, за вивіз яких з метою перероблення (захоронення) несе відповідальність міська рада.

Результати досліджень.

Обґрунтування категорій ВЖД. Великий асортимент забруднювачів деревини, які на різних стадіях обробки та використання потрапляють до неї, зумовлює потребу правильного та доцільного її сортування за певними кваліфікаційними критеріями. Вживана деревина, як відходи залежно від ступеня забруднення, може мати різне використання – матеріальне, як додаткова сировина, енергетичне, як джерело енергії, або підлягати ліквідації через екологічні обмеження. На підставі детального аналізу великої кількості літературних джерел українських і закордонних науковців та власних досліджень з даної проблеми встановлено, що основним критерієм класифікації вживаної деревини є ступінь її забруднення. У термін «вживана деревина» закладено промислові відходи деревини (зокрема браковану продукцію) та спожиті (відпрацьовані) вироби з деревини, деревинних матеріалів або з композитних матеріалів із вмістом деревини більше, ніж 50 % маси.

Вияснено та обґрунтовано з аналізу літературних джерел та на підставі зіставлення аналогічних груп відходів (вживаної деревини), які прийнято в країнах ЄС, пропонується впровадження для українського законодавства у сфері поводження з відходами деревини і вживаними виробами з деревини чотири категорії відходів, які можуть мати матеріальне та енергетичне призначення, та відходи ліквідації, які не входять до жодної із категорій [11, 17]:

- перша категорія – вживана деревина I (ВЖД-I) – природна та тільки механічно оброблена деревина, яка має незначні натуральні опоряджувальні матеріали, а також деревина від стихійних катаклізмів; друга категорія – вживана деревина II (ВЖД-II) – оброблена деревина та деревні матеріали без речовин захисту деревини та без галогеноорганічних зв'язків у покриттях;
- третя категорія – вживана деревина III (ВЖД-III) – оброблена деревина та деревні матеріали без речовин захисту деревини та з галогеноорганічними зв'язками у покриттях;
- четверта категорія – вживана деревина IV (ВЖД-IV) – деревина та деревні матеріали, які оброблені речовинами захисту;

Розроблення шляхів використання вживаної деревини. Можливі варіанти управління ВЖД за категоріями показані на рис. 1. Залежно від категорії ВЖД ці відходи можуть бути використані як для перероблення для виробництва нової продукції або аналогічної продукції менших розмірів, так і для виробництва енергії – електрики і тепла. Необроблена деревина категорія ВЖД-I і значна частина категорії ВЖД-II перш за все призначені для перероблення як вторинна сировина. Відповідно до якості зібраної деревини для категорій ВЖД-I, ВЖД-II та ВЖД-III визначається їх придатність до використання для перероблення або виробництва енергії.

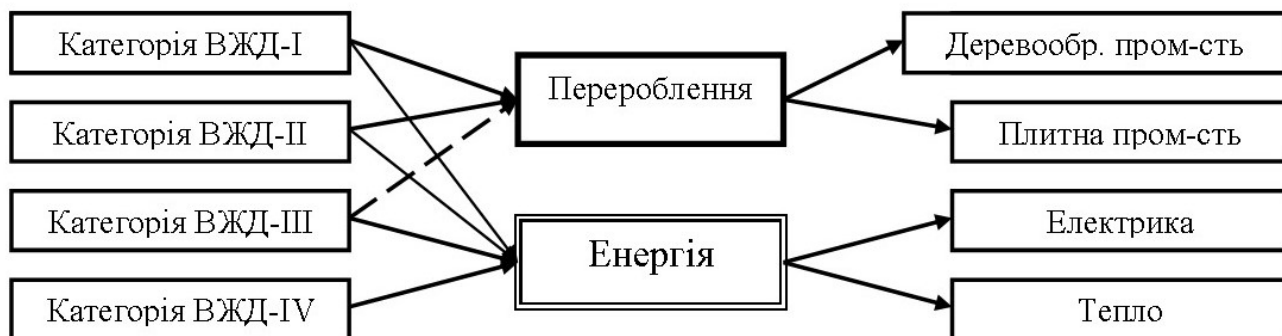


Рис. 1. Шляхи перетворення ВЖД

Концепція утилізації вживаної деревини. Напрями використання ВЖД залежать від вмісту в ній різних забруднювачів. У відповідності до розробленої концепції використання ВЖД (рис. 2) спочатку досліджують забруднену деревину на наявність шкідливих речовин, а потім спрямовують її на відповідний напрямок використання. Чиста деревина або частина деревини, яка забруднена менше, може бути спрямована для повторного або подальшого використання. Із залишеної ВЖД вибирається сировина з невеликою кількістю забруднення і призначається для перероблення на стружку. Решта підлягає енергетичному використанню.

Деревні відходи в категорій ВЖД-I...ВЖД-IV можуть бути також використані для виробництва активованого вугілля – деревинного вугілля і промислового виробництва синтетичного газу, а також у газифікації заводів з обов’язковим контролем викидів. Під час цих процедур, органічні забруднюючі речовини, що містяться у відходах деревини повністю руйнуються через високі температури. Важкі метали зв’язуються у тверді залишки або затримуються під час очищення одержаних газів. Проблема утилізації відходів категорії ВЖД-IV (наприклад, залізничних дерев’яних шпал, просочених антисептиками) – щонайгостріша для транспортної галузі і для країни в цілому. Саме тому проводяться дослідження способів використання подрібненої ВЖД-IV як палива у відповідності з Директивами ЄС 94/67 від 16 грудня 1994 р. із спалювання шкідливих відходів. З іншого боку, використання шкідливих деревинних відходів як палива стало можливим завдяки виробленню оптимальних режимів роботи котельних агрегатів та спалювальних заводів.

Встановлено, що близько 20 % ВЖД, просоченої шкідливими консервантами, зокрема хлорфенолом, креозотовим мастилом, бензопіренами та забруднюючими речовинами, повинна пройти хіміко-термо-механічне оброблення або утилізуватись шляхом спалювання у відповідних заводах, які мають котли високої потужності, не менше, ніж 100 МВт. 80 % ВЖД від I до IV категорій може мати матеріальне використання. ВЖД (зокрема, категорій ВЖД-I, ВЖД-II і частково ВЖД-III), яка не має забруднень, або з незначними забрудненнями, відповідно визначень категорій, можна залучати до повторного використання та перероблення. Дотримання цих вимог забезпечується шляхом обов’язкового відбору відповідних проб та порівняння їх з допустимими граничними значеннями забруднювачів – концентрацію хімічних елементів та їхніх сполук та аналізу положень, для одержання тріски, яка використовується як сировина у виробництві деревинних плитних матеріалів. Відходи деревини оброблені таким чином перестають бути відходами і можуть бути перероблені як первинна сировини для лісопромислової продукції. За допустимих забруднень, після зовніш-

нього і поверхневого очищення та проведення хімічного аналізу взятих проб, ВЖД-III та ВЖД-IV скеровуються на повторне машинне оброблення або на подрібнення з подальшим хіміко-термо-механічним обробленням.



Рис. 2. Концепція утилізації вживаної деревини

Рекомендації щодо практичного застосування вживаної деревини. У відповідності до мети роботи з дослідження можливостей та з'ясування особливостей перероблення ВЖД у технологічних процесах деревообробки на підставі системного аналізу запропоновано використовувати очищену ВЖД в масивному вигляді – для виробництва заготовок, столярної плити та меблевого щита; в подрібненому – для стружкових плит та паливних гранул і брикетів [16]. Шляхи перероблення ВЖД на продукцію подано на рис. 3.

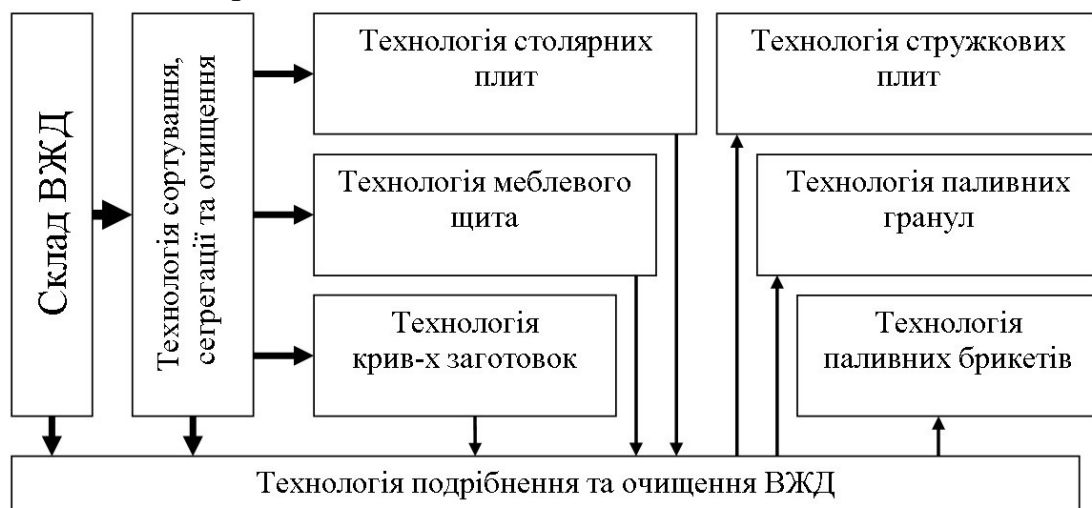


Рис. 3. Системний підхід до використання ВЖД

З аналізу існуючих досліджень встановлено, що із ВЖД (старих меблевих і столярно-будівельних виробів) можна отримати дошки, бруски, рейки, а також технологічну тріску. Слід зауважити, що така деревина нерідко має багато як механічних (сколи, отвори, подряпини), так і біологічних (зміна кольору, гнилизна) дефектів, які унеможливають її використання для виробів з прозорими методами опорядження. Тому її слід використовувати там, де зовнішній вигляд не має суттєвого значення. Меблевими матеріалами, в яких можна використати таку деревину є ДСП, ДВП та СП [16]. Як показує світова практика ВЖД у подрібненому вигляді вже частково використовується для виготовлення ДСП, перемішуючись із первинною деревиною у певних співвідношеннях. Як варіант цільного використання очищеної ВЖД є СП, яка розглядається, як екологічно чистий, міцний і легкий конструкційний матеріал.

За конструкцією й технологією виготовлення СП поділяється на три типи: НР – заповнення з склеєних між собою рейок, СР – заповнення зі склеєних одна з одною рейок, БР – з рейок, випиляних зі склеєних у блок дощок.

Нормативний документ: ДСТУ 13715-78 "Плити столярні. Технічні умови". Європейськими аналогами цих типів плит згідно DIN 68705-2-2003 є: **Battenboard**– столярна плита, з серединним заповненням із склеєних тонких дощок шириною не більше трьох максимальних товщин як правило ≤ 75 мм, склеєних по крайці і ламінованих шпоном (фанерою, МДФ),

- **Blockboard**– столярна плита, з серединним заповненням із дощок шириною не більше однієї максимальної товщини, як правило 25 мм, покритої шпоном (фанерою, МДФ),

- **Laminboard**– столярна плита, з серединним заповненням із дощок товщиною 6-7 мм і шириною 25-30 мм, поставлених на ребро і склеєних пласть до пласті, що створюють стійкий блок, покритий зверху і знизу шпоном або трьох-, чотирьох- чи шестишаровою фанерою.

Створення нових конструкцій столярних плит з використанням різних рейок з брусків порід дерев та з плитних матеріалів дасть змогу підтримати сировинний баланс та резерв. Застосування одержаних заготовок з різних матеріалів у конструкціях комбінованих столярних плит є актуальним дослідженням, маловивченою проблемою, яка потребує вирішення. Проблема досліджень – брак ресурсоощадних та екологобезпечних технологій з практичними рекомендаціями щодо використання ВЖД в деревообробці для виготовлення конструкційних матеріалів, зокрема столярних плит із потенційного додаткового ресурсу, запаси якого збільшуються в міру розвитку галузей та господарств країни.

Технологія утилізації відходів – перероблення ВЖД для матеріального виробництва, зокрема столярних плит, є рентабельною та ефективною через низьку собівартість даної деревинної біомаси. Отже, розроблення науково-технічної бази, створення нових виробів, удосконалення існуючої технології, модернізація обладнання для перероблення ВЖД, розроблення режимних параметрів та формування практичних рекомендацій, підтверджених результатами експериментальних досліджень є важливою та актуальною проблемою сьогодення.

Висновки:

1. Обґрунтовано, що ВЖД є альтернативним додатковим ресурсом сировини за умови утилізації та перероблення її на конструкційні матеріали для використання у технологічних процесах деревообробки, виготовлення меблів та інших виробів з деревини. З'ясовано основну проблему перероблення вживаної деревини – брак ресурсоощадних та екологобезпечних технологій з практичними рекомендаціями щодо використання ВЖД в деревообробці. Обґрунтовано, що важливим аспектом ефективного використання деревинних відходів є формування оптимальної системи їх раціонального кругообігу.

2. Обґрунтовано необхідність створення класифікації вживаної деревини, що дасть можливість здійснювати облік, ідентифікацію, прогнозувати обсяги утворення та передбачати потенційний резерв для виготовлення нових виробів з деревини. Проаналізовано досвід використання вживаної деревини за кордоном. Встановлено відсутність теоретичних та експериментальних досліджень фізико-механічних властивостей вживаної деревини, характеристик столярних плит із вживаної деревини, технологічних процесів перероблення на заготовки заготовки. Обґрунтовано, що перспективним напрямом матеріального використання вживаної деревини може стати виробництво конструкційних матеріалів, зокрема столярних плит, що є актуальною та малодослідженою проблемою. Сформовано завдання досліджень згідно поставленої мети за темою наукового реферату. Визначено методи досліджень для

вирішення поставлених завдань. Обґрунтовано, що додатковим ресурсом та невикористаним існуючим обсягом деревинної сировини, є запаси ВЖД. Дана сировина, як потенційний ресурс деревинної маси, через відсутність технологічних розробок та практичних рекомендацій (від збирання до виготовлення розмірно-якісних заготовок для майбутніх виробів) не знайшла ще належного використання на деревообробних підприємствах України.

3. Обґрунтовано, що вживана деревина може перероблятися на розмірно-придатні заготовки, що є основою для виготовлення столярних щитів та столярних плит різних конструкцій. Встановлено, що розроблення шляхів використання, класифікації вживаної деревини, ресурсоощадної та екологобезпечної технології з практичними рекомендаціями щодо використання ВЖД в деревообробці дасть можливість суттєво економити первинні сировинні ресурси.

4. З'ясовано, що проблема пошуку раціонального варіанта перероблення ВЖД на розмірно-придатні заготовки для столярних плит є актуальною, а для її реального вирішення необхідно розробити суттєві кроки щодо класифікації ВЖД за ступенем забруднення, що є визначальним для виробництва якісної продукції. Зроблено детальний огляд та ґрунтовний аналіз для визначення принципів класифікації вживаної деревини. Обґрунтовано групи ВЖД за походженням. Запропоновано класифікацію ВЖД за ступенями забруднення на чотири групи. Наведено приклади приналежності вживаної деревини до певної категорії.

5. Встановлено, що в Україні сьогодні немає конкретних заходів державного регулювання, які використовуються в індустріально розвинутих країнах для активізації роботи в галузі ресурсозбереження та перероблення ВЖД. Обґрунтовано основні стратегічні шляхи використання ВЖД, які лягли в основу розробленої концепції за такими напрямками: матеріальне та енергетичне використання, перетворення та складування. Розроблено стратегію використання ВЖД з дотриманням алгоритму покрокової процедури матеріального перероблення, який базується на систематизації ВЖД за категоріями, класифікації за забрудненням, концепції утилізації шляхом перероблення на розмірно-придатні заготовки та конструкційні матеріали.

6. Запропоновано використовувати у технологічних процесах деревообробки на підставі системного аналізу очищену ВЖД в масивному вигляді – для виробництва заготовок, столярної плити та меблевого щита; в подрібненому – для стружкових плит та паливних гранул і брикетів. Зокрема, для виробництва столярних плит пропонується використовувати рейки ВЖД трьох перших категорій.

References

1. **Gayda S.V.** (2011): Вживана деревина – додатковий ресурс сировини / *Vzhyvana derevyina – dodatkovyy resurs syrovyny* [Recovered wood is additional resource of raw material]. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 37(1): 238-244 (in Ukrainian).
2. **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).
3. **Maksymiv L.I., Zagvoyska L.I., Klimovych V.P.** (2009): Використання енергетичного потенціалу деревини: еколого-економічний вимір / *Vykorystannya enerhetychnoho potentsialu derevyiny: ekoloho-ekonomichnyy vymir* [Using the energy potential of wood: an ecological and economic dimension]. *Scientific Works of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine* 14:244-251 (in Ukrainian).
4. **COST Action E31.** National summary reports on the European market of recovered wood (2002-2007). – 335 p.
5. **AltholzV:** «Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von AltholzV», Art. 1a der Verordnung vom 1. März 2003. BGBl. I. – P. 3302-3317.
6. **Voytovych I.G.** [2010]: Основи технології виробів з деревини / *Osnovy tekhnolohiyi vyrobiv z derevyiny* [Fundamentals of wood products technology]. – Lviv: Country of Angels, 305 p. (in Ukrainian).
7. **Gayda S.V.** (2016): *Ekologo-tekhnologicheskiye aspekty pererabotki vtorichno ispol'zuyemoy drevesiny dlya proizvodstva pressovannykh materialov* [Ecological and technological aspects of recycling post-consumer wood for production compacted materials]. *Lesnoy vestnik / Forestry bulletin of MSFU* 20(3):15-22 (in Russian).
8. **Rozhenko V., Balabuha S., Rozhenko I., Dzyna M.** (2012): Біомаса – ресурс землі / *Biomasa – resurs zemli* [Biomass – a land resource]. Proposal 1:98-101 (in Ukrainian).

9. **Gayda, S.V., Maksymiv, V.M.** (2007): Аналіз, особливості, проблеми та досвід використання додаткових ресурсів сировини – відходів та вживаної деревини / *Analiz, osoblyvosti, problemy ta dosvid vykorystannya dodatkovykh resursiv syrovyny – vidkhodiv ta vzhivanoyi derevyny* [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).
10. **Nikyshov V.D.** (1985): Комплексное использование древесины / *Kompleksnoye ispol'zovaniye drevesiny* [Complex use of wood]. *Timber industry*. – 264 p. (in Russian)/
11. **Gayda S.V.** (2009): Potential of post-consumer recovered wood and possible ways of it using in Ukraine // *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 35:63-83.
12. **EUWood.** (2010): Methodology report. Hamburg / Germany. – 165 p.
13. **Bekhta P.A., Onisko V., Mateyak M., Kuehne G., Dobrovolska E., Shvachyna I.** (1999): Перспективи повторного використання вживаної деревини / *Perspektyvy povtornoho vykorystannya vzhivanoyi derevyny* [Prospects of reuse of used wood] *Scientific Bulletin of the UNFU* 9.5:34-45.
14. **Ratajczak E.** *Zasoby odpadów drzewnych w Polsce* / E. Ratajczak, A Szostak. Poznan: Czysa Energia, 2003. – Vol. 6. – P. 122-125.
15. **Sirko Z.S.** (2014): Розрахунок обсягів деревинних відходів, які утворюються у виробництві під час перероблення деревини / *Rozrachunok obsyahiv derevynnykh vidkhodiv, yaki utvoryuyut'sya u vyrobnytstvi pid chas pereroblennya derevyny* [Calculation of the amount of wood waste generated in production during wood processing] *Scientific Bulletin of the National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine* 198.1: 215-220.
16. **Gayda S.V., Kshyvetskyi B.Ya., Voytovych I.G., Prokopovych B.V.** (2002): Тлумачний словник з деревооброблення / *Tlumachnyy slovnyk z derevoobroblennya* [Explanatory dictionary from Woodworking]. Lviv: UNFU. – 280 p. (in Ukrainian)
17. **Gayda S.V.** (2013): Основи формування класифікатора вторинних деревинних ресурсів / *Osnovy formuvannya klasyfikatora vtorynnykh derevynnykh resursiv* [Bases of secondary wood resources classifier formation]. *Scientific Works of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine* 11:208-215 (in Ukrainian).
18. **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>.
19. **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>.
20. **Gayda S.V., Bilyi, Ya.M.** (2016). The investigation of the shape stability of glued panels made of post-consumer wood. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 42, 69-79. <https://doi.org/10.36930/42164211> (in Ukrainian).
21. **Gayda S.V., Kiyko O.A.** (2021). Властивості вживаної деревини як визначальний чинник якості меблевих виробів / *Vlastyvosti vzhivanoyi derevyny yak vyznachal'nyy chynnyk yakosti meblevykh vyrobiv* (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). <https://doi.org/10.15421/412135>
22. **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 (in Ukrainian).
23. **Gayda S.V.** (2011). Recycled of post-consumer wood is for the production of particleboard in Ukraine / *Proceedings of the XXI International symposium Adhesives in Woodworking Industry* (Slovakia, Zvolen June 29 – July 01. 2011). TU Zvolen. – P. 108-121.
24. **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.
25. **Gayda S.V.** (2013). Розроблення технології виробництва паливних гранул на основі енергетичного потенціалу вживаної деревини (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).
26. **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 of forest complex* 38:212-216 (in Russian).

27. **Gayda S.V.** (2018). Strength of combined blockboard made of post-consumer wood (PCW). Bulletin of KhNTUA 197:3-9, (in Ukrainian).
28. **Gayda S.V.** (2015). Modeling properties of blockboards made of post-consumer wood on the basis of the finite element method. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry, 41, 39-49. <https://doi.org/10.36930/42154106>
29. **Gayda S.V.** (2016). Research on physical and mechanical characteristics of front blockboards made from post-consumer wood (Дослідження фізико-механічних характеристик фасадних столярних плит із вживаної деревини). Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 42: 33-50.
30. **Gayda S.V.** (2016). Технологічні підходи до поверхневого очищення вживаної деревини голкофрезерним інструментом / *Tekhnolohichni pidkhody do poverkhnevoho ochyshchennya vzhuvanoyi derevyyny holkofrezernym instrumentom* (Technological approaches to cleaning of surface of post-consumer wood of needle-milling tools). Bulletin of KhNTUA 178:3-11(in Ukrainian).
31. **Gayda S.V., Kiyko O.A.** (2018). Shape stability as a quality criterion for PCW-made blockboards. Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, 17, 185-192. <https://doi.org/10.15421/411834> (in Ukrainian)
32. **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. <https://doi.org/10.36930/42184402> (in Ukrainian).
33. **Gayda S.V.** (2018). Технологія МДФ-фасадів / *Tekhnolohiyi MDF-Fasadiv* (MDF Facade Technologies). Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 44:70-83 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42184410>
34. **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).

UDC 674-419.33:674.8

Post-graduate student L.M. Medvid – UNFU

Post-consumer wood – an additional reserve of raw materials for construction materials

It is substantiated that post-consumer wood (PCW) is an alternative additional resource of raw materials under the condition of recycling and processing it into structural materials for use in the technological processes of woodworking, furniture and other wood products. The main problem of processing used wood is clarified – the lack of resource-saving and environmentally safe technologies with practical recommendations for the use of PCW in woodworking. The need to create a classification of used wood is substantiated, which will make it possible to record, identify, forecast the volume of formation and predict a potential reserve for the manufacture of new wood products. A detailed review and thorough analysis was made to determine the principles of classification of used wood. It is substantiated that the production of structural materials, in particular carpentry boards, can become a promising direction of material use of used wood, which is an urgent and understudied problem. It is substantiated that used wood can be processed into dimensionally suitable blanks, which are the basis for the manufacture of carpentry boards and carpentry boards of various designs. It has been established that the development of ways of use, classification of used wood, resource-saving and environmentally safe technology with practical recommendations for the use of PCW in woodworking will make it possible to significantly save primary raw materials. It has been found that the problem of finding a rational option for processing PCW into dimensionally suitable blanks for carpentry boards is urgent, and for its real solution, it is necessary to develop significant steps regarding the classification of PCW according to the degree of pollution, which is decisive for the production of quality products. The main strategic ways of using PCW, which formed the basis of the developed concept in the following areas: material and energy use, transformation and storage, are substantiated. A strategy for the use of PCW has been developed in compliance with the algorithm of the step-by-step material processing procedure, which is based on the systematization of PCW by categories, classification by pollution, the concept of utilization by processing into dimensionally suitable blanks and construction materials.

Keywords: post-consumer wood, classification, potential, processing, recycling, blockboard, use, energy, construction materials, furniture board, forecasting.

PATTERNS OF CHANGE IN TECHNOLOGICAL ACCURACY OF WOODWORKING MACHINES DURING OVERHAUL PERIOD

The patterns of changes in the technological accuracy of the machine during the overhaul period in the form of a polynomial dependence have been identified, which makes it possible to determine the time and number of adjustments to the machine to ensure its operating capacity according to the criterion of technological accuracy. On the basis of the statistical modeling method, a simulation model-program "ModDynToch" was developed for identifying changes in the technological accuracy of the machine tool with the determination of the time between failures and the required number of machine adjustments during the overhaul period. Based on the results of modeling changes in the technological accuracy of a number of machines for sawing and milling wood, it was found that in order to ensure a working capacity during the overhaul period, each machine requires three adjustments to be made at a certain interval. Based on the analysis of the results of modeling changes in the technological accuracy of machines for sawing and milling wood, it was found that the shortest period of operation for band saw machines is up to 190 hours, for circular saw machines – up to 480 hours, and for milling machines – up to 840 hours. The results of the statistical modeling of the pattern of changes in the technological accuracy of machines during the overhaul period of operation are correlated with operational data with an accuracy of up to 7%, which confirms the reliability of the modeling results.

Keywords: Simulation model, machining accuracy, machine tool, repair.

Introduction. The source of errors in the dimensions of the parts produced in the process of wood cutting is the dynamic system "machine-cutting tool-workpiece" (MCtW) [1, 2], which contains a large number of factors that have both a systematic and a random nature of influence on the accuracy of machining. The most complex and constant source of machining errors is the machine, the period of operation of which is decades. One of the main performance indicators of a woodworking machine is its technological accuracy, which during the operation of the machine is constantly decreasing compared to the initial one. The technological accuracy of machine tools is partially restored through periodic adjustment and repair [3]. That is, maintaining the necessary level of machining accuracy on machine tools requires the development of specific practical solutions to improve or restore the technological accuracy of a woodworking machine, which, in turn, requires conducting research to find out patterns of changes in machining accuracy during the overhaul period of the machine.

¹ Пилипчук Марія Іванівна, канд. техн. наук, доцент, професор, кафедра деревообробного обладнання та інструментів. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: 032-238-44-04, +38-097-164-81-20. Email: m.pylyp@nltu.edu.ua ; <https://orcid.org/0000-0002-7684-1821>

² Тарас Василь Іванович, провідний інженер, кафедра деревообробного обладнання та інструментів. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: 032-238-44-04, +38-098-972-82-10. Email: taras_ihl@ukr.net

³ Бурдяк Михайло Романович, канд. техн. наук, асистент, кафедра деревообробного обладнання та інструментів. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: 032-238-44-04, +38-097-148-00-98. Email: m.burdiak@mail.ru

⁴ Жмудик В.Т. – магістрант кафедри деревообробного обладнання та інструментів. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: 032-238-44-04.

1. Analysis of well-known studies and publications. The first studies of the change in the machining accuracy caused by a number of factors were conducted by F.M. Manzhos [4], on the basis of which it was found that cutter wear has a significant effect on the machining error, also the dependence of the cutter wear on the cutting path was revealed. Models for changing the accuracy of batch blanks dimensions were proposed by the authors [5, 6, 17-19], which are based on the linear dependence of the increase in the scattering field of the machining error of a batch of manufactured parts (Fig. 1 *a, b*). The size of the random error scattering field is determined on the assumption that the error scattering is subject to the normal distribution law of values, and the change in size of the parts and the scattering field over time is linear in nature [7], but in most cases such dependencies have a much more complex nature of change. Thus, according to the results of studies on the change in machining accuracy during the tool operation, regarding wear, on bandsaw and circular saw machines [8–11], it was found that the change in machining accuracy is described by a polynomial dependence (Fig. 2 *a, b*).

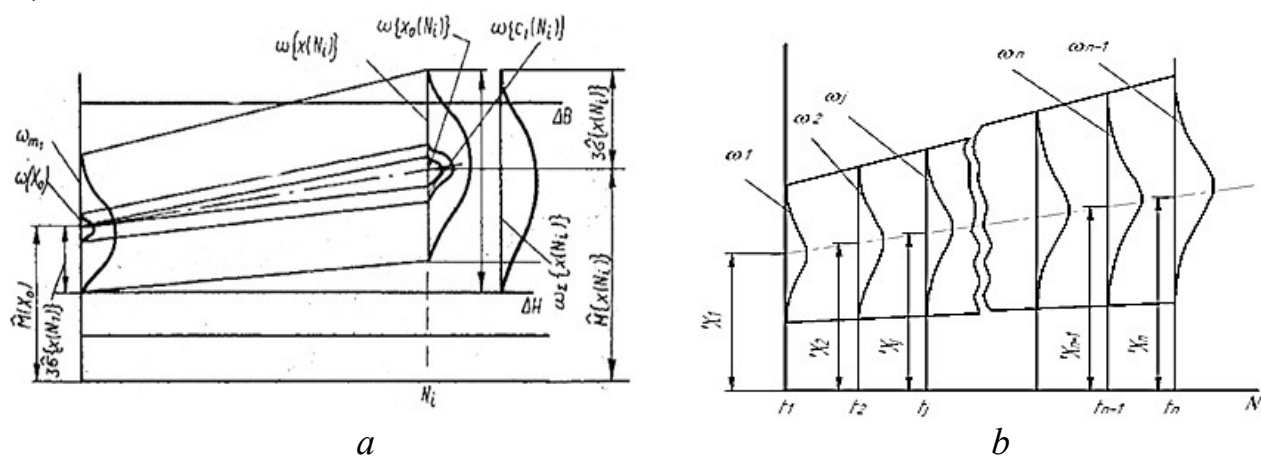


Fig. 1. Modeling of changes in the machining accuracy of a batch of blanks:

a – model of changing the accuracy of the sizes of blanks in a batch [5];

b – model of the accuracy of machining a batch of parts [6]

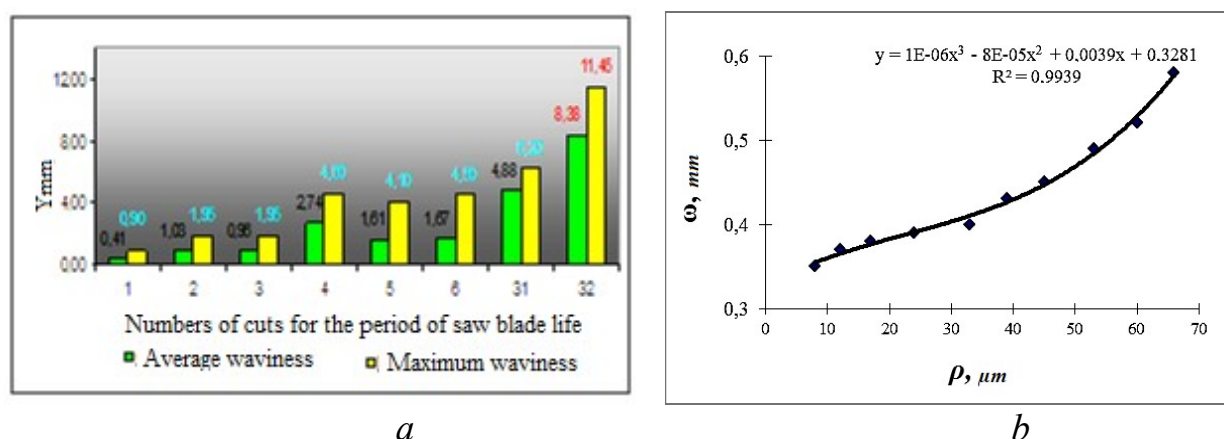


Fig. 2. Dependences of the change in the accuracy of wood machining during the period of tool service life in relation to wear: *a – change in the waviness of band saw cuts, [8]; b – change in the accuracy of machining with a circular saw, [10]*

Prof. V.V. Amalytsky [12] found that technological accuracy is the main criterion for assessing the reliability of woodworking machines and developed a mathematical model of the technological service life of a woodworking machine (Fig. 3). But along

with this, it should be noted that these models have a general approximate and simplified form of mathematical equations.

The method of mathematical modeling of the state of technological accuracy of woodworking machines has become the main one for further studies of the processes of machining wood and wood-based materials. Thus, in [13], developed was a mathematical model of changing the technological accuracy of a machine tool for calibrating and grinding chipboard-made furniture parts with abrasive cylinders, which makes it possible to predict a change in the technological accuracy of a machine tool in order to prevent the appearance of defective parts. In [14], based on the analysis of the well-known methodology for studying the technological accuracy of woodworking machines, substantiated is the need for its improvement through the use of computer technologies for processing and analyzing the statistical data of the experiment. The author [15] believes that the disadvantage of the well-known methodology for studying the change in technological accuracy during the characteristic period of machine operation is a statistical-analytical method that requires conducting an experiment and mathematical processing of a large amount of statistical data. The authors of [16] developed a simulation model of changes in the technical condition of the chipboard forming-and-pressing equipment over the period of the repair cycle, and, based on the results of experiments on the model, it was found that the distribution of time-to-failure is described by the Weibull law.

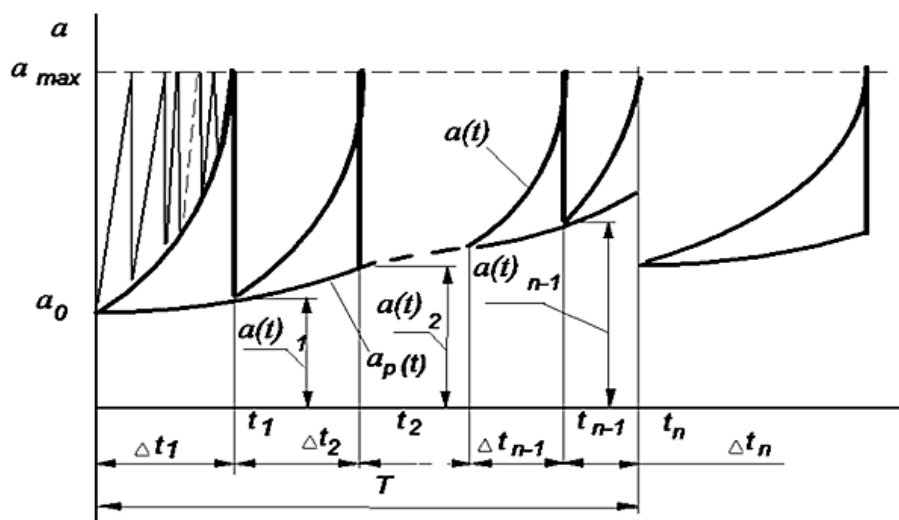
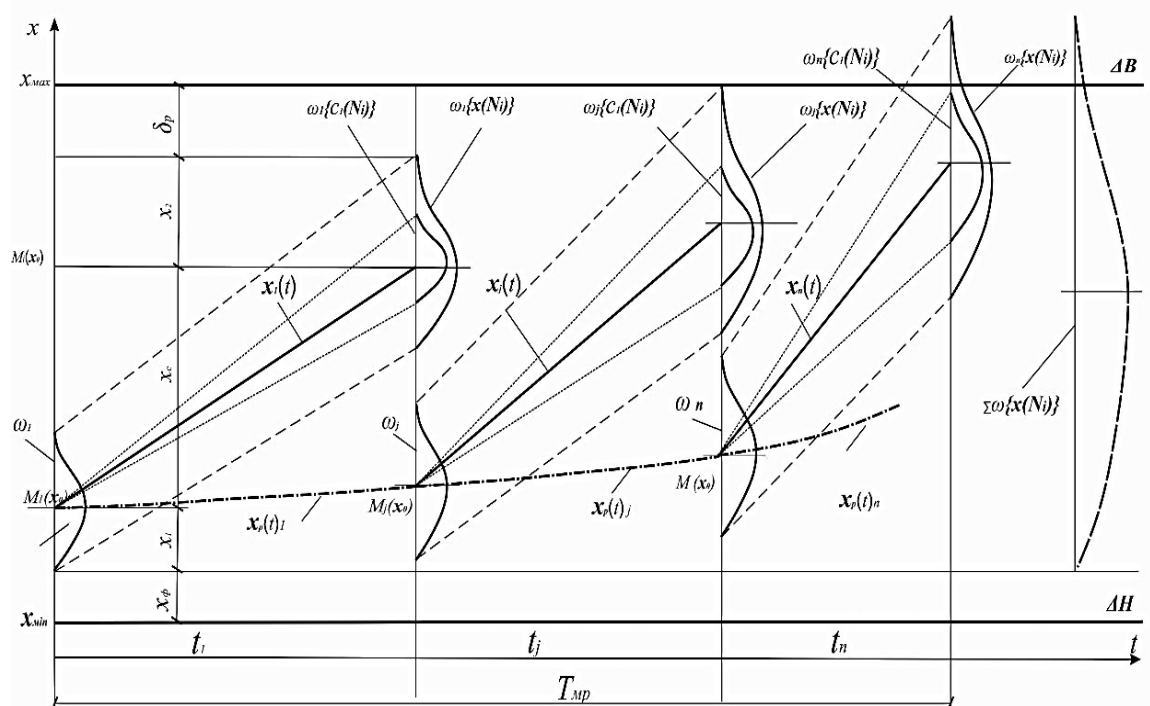


Fig. 3. Model of the technological service life of the machine according to V.V. Amalytsky [12]

So, as a result of the analysis of the known methods for studying the technological accuracy of woodworking machines, the limitations and inconsistency of the research results with the modern scientific level were revealed, which indicates the need for further development of the methodology for modeling changes in machining accuracy using modern computer technologies, which will allow finding practical solutions to ensure the operability of the machine according to the criterion of technological accuracy.

2. Research methodology. 2.1. Mathematical model of changes in machining accuracy during overhaul period of machine tool operation. The formation of a mathematical model of changes in the accuracy of machining during the overhaul period of the machine is based on the following basic principles: the processes that cause errors during the machining of workpieces and the errors themselves are random in nature; the change in the technological accuracy of the machine is described by the Weibull-

Gnidenko distribution law and its scattering field ω_l ; $\omega_l = \pm 2\sigma$ is taken as the scattering field boundaries with the probability of entering the size values of the manufactured parts – 0.976. The formation of a mathematical model for changing the accuracy of processing during the overhaul period of the machine is based on the following basic principles: the processes that cause errors in the processing of workpieces, and the errors themselves are random; the change in the technological accuracy of the machine tool is described by the Weibul-Gnedenko distribution law and its stray field ω_1 ; outside the stray field, $\omega_1 = \pm 2\sigma$ is taken with the probability of hitting the dimensions of the manufactured parts – 0.976.



Adjustment of the machine includes a set of measures, the implementation of which allows improving the technical condition of the machine without mechanical processing of its elements and without replacing worn parts. When adjusting, only gap reduction, lubrication, tension adjustment, etc. are performed. It is impossible to reach the initial level of accuracy x_0 through the adjustment, that is, some value $x_p(t)$ is only reached, which characterizes the accuracy of the adjusted machine tool.

determine the duration of interregulatory periods, it is assumed that the value $x(t) - x_p(t)$ has a linear dependence on the time interval of each interregulatory period with the same angular coefficient k for all intervals.

$$x(t) - x_p(t) = k(t_n - t_{n-1}), \quad (1)$$

where t_{n-1} is the last moment of adjustment before carrying out repairs t_{mp} .

For $t_{mp} = t_n$, equation (1) takes the form $x_{max} - x_p(t_n) = k \cdot t_n$ (2)

In the second approximation, it is assumed that at each moment of time the rate of change of the value $x_p(t) - x_0$ is proportional to the accuracy and is recorded

$$(x_p(t) - x_0)' = x'_p(t) = \lambda \cdot x(t), \quad (3)$$

where λ - proportionality factor.

To determine the duration of interregulatory periods, prof. V.V. Amalytsky [12] proposes the dependence

$$\Delta t_n = \frac{1}{\lambda} \left[-\ln \left(1 - \frac{\lambda \cdot \Delta t_{n-1}}{1 + \lambda \frac{x_{max}}{k}} \right) \right]. \quad (4)$$

where: x_{max} – the upper tolerance limit for the size of parts in the batch produced by the machine; k – angular coefficient characterizing the rate of machine misalignment per unit of time; λ – proportionality factor which characterizes the rate of wear of the machine per unit of time.

To determine the zero interval Δt_0 in the dependence (4), the following is accepted

$$x(t) = x_{max}, \quad x_p(t) = x_0, \quad t_n = 0, \quad t_n = t_0. \quad (5)$$

Then the value of the zero conditional interval is determined by the dependence

$$\Delta t_0 = \frac{x_{max} - x_0}{k}. \quad (6)$$

If the interval Δt_n is identified, the value of the function $x_p(t)$ at the end of the last interval t_n is determined from the dependence $x_p(t_n) = x_{max} - k \cdot \Delta t_n$. (7)

Thus, dependences (3), (4), and (7) provide the calculation scheme of the function $x_p(t)$. The value of the curvilinear dependence, which characterizes the pattern of change in the interregulatory periods, is given by the function

$$x_p(t) = x_p(t_{n-1}) \cdot e^{\lambda(t-t_{n-1})} \frac{k}{\lambda} \left[e^{\lambda(t-t_{n-1})} - \lambda(t-t_{n-1}) - 1 \right] \quad (8)$$

Function (8) is a mathematical model of changes in the technological accuracy of the machine during the overhaul period. The overhaul period t_{mp} , during which the machine reaches an inoperable condition, according to the criterion of technological accuracy, consists of successively decreasing interregulatory periods

$$t_{mp} = \sum_{n=1}^{\infty} \Delta t_n \quad (9)$$

For practical results, the number of interregulatory intervals is limited to the number $n = 3$, which corresponds to the duration of the inter-inspection periods of the system of scheduled preventive repairs of woodworking machines of complexity group II.

2.2. Development of an algorithm for a simulation model – a computer program "ModDynToch". On the basis of the statistical modeling method, a simulation model was developed – the *ModDynToch* computer program for changes in the technological accuracy of the machine tool with the determination of the working time-to-failure and the required number of adjustments of the machine tool during the overhaul period of its operation. The *ModDynToch* program algorithm consists of a main program and a *ModDynam* subroutine. The program is implemented in the Visual Basic language for Applications in the Excel environment. The program provides for data input and output of results on separate sheets of the Excel environment.

The algorithm of the main program (Fig. 5) includes 21 blocks, each of which successively performs the following functions:

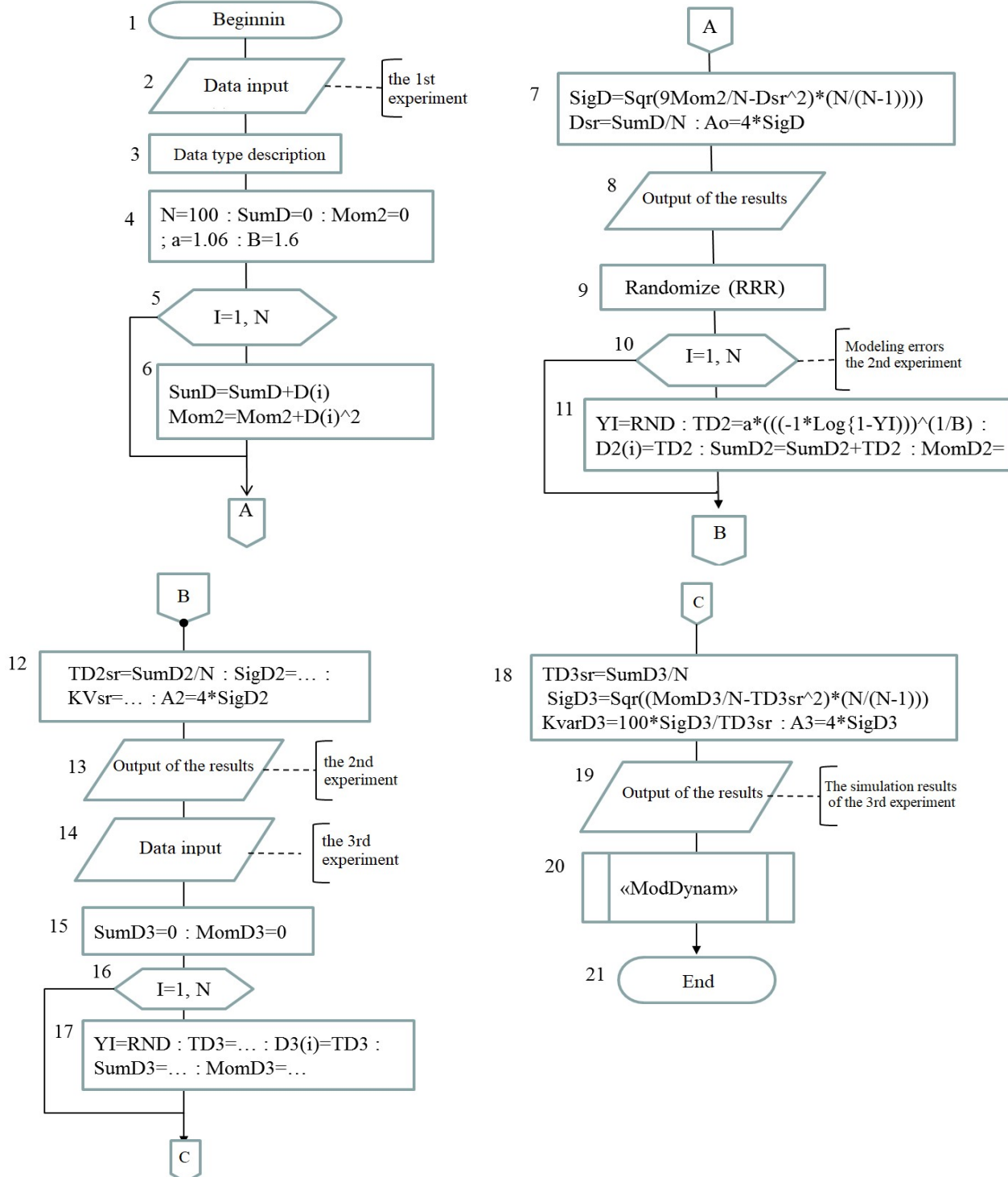


Fig. 5 – Block diagram of the algorithm for the main program *ModDynToch*

1 Beginning – describes the name of the program, the authors of the program; 2 Data input – organizes the entry from the "Data" sheet of the date of the 1st experiment, characterizing the initial state of the machine; 3 Data type description – characterizes the types of data and arrays: integers, valid, etc.; 4 – organizes the cleaning of cells and the input of constants; 5 – organizes cycles from 1 to N for the 1st experiment; 6 – calculates the sum of values and the second statistical point; 7 – determines standard deviations, the arithmetic mean of values and the error scattering field; 8 – organizes the output of the results of the first experiment on the Excel sheet; 9 – initiates the Randomize (RRR) function for the operation of the generator of uniformly distributed RND values; 10 – organizes cycles from 1 to N of modeling errors according to the Weibull-Gnidenko distribution; 11 – generates uniformly distributed YI numbers and calculates the array of errors according to the Weibull-Gnidenko distribution; 12 – calculates the average value of the errors, the standard deviation of the errors, the coefficient of variation and the error scattering field of the 2nd experiment; 13 – organizes the output of the results of the 2nd experiment; 14 – organizes the data input of the 3rd experiment (technological accuracy after adjusting the machine); 15 – organizes the cleaning of cells of sums and the second statistical moment of the third experiment; 16 – organizes cycles from 1 to N for the 3rd experiment; 17 – organizes the modeling of errors according to the Weibull-Gnidenko distribution; 18 – calculates the average value of errors, the standard deviation of errors, the coefficient of variation and the error scattering field after modeling the 3rd experiment; 19 – organizes the output of the simulation results of the 3rd experiment; 20 – organizes a call to the *ModDynam* subroutine to calculate indicators of technological service life; 21 End.

The *ModDynam* subroutine (Fig. 6) includes ten blocks:

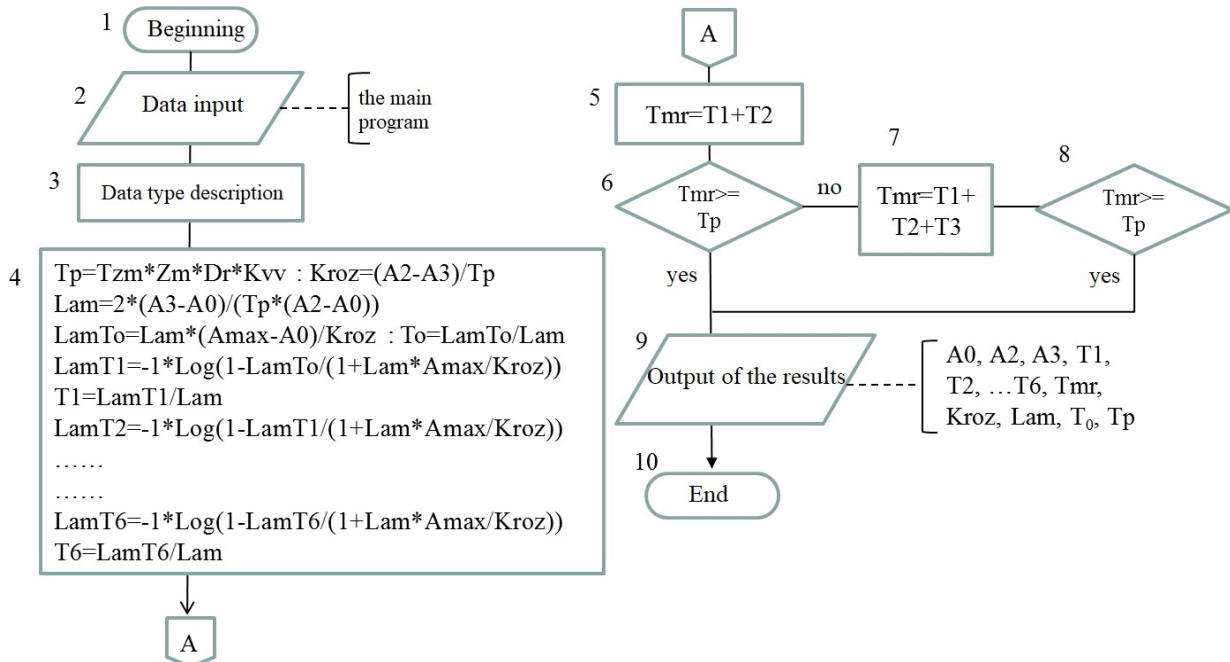


Fig. 6. Block diagram of the algorithm for the *ModDynam* subroutine

1 Beginning – describes the name of the program, the authors of the program, etc.; 2 Data input – organizes input from the main program; 3 Data type description – characterizes the types of data and arrays: integers, valid, etc.; 4 – calculates the parameters of technological service life: the rate of misalignment of the machine, the rate of wear of the machine, the conditional time of the misalignment of the machine before the

start of research, the duration of the interregulatory periods; 5 – assigns the first value to the duration of the interregulatory period Tmr ; 6 – compares Tmr with the service life of the machine Tr ; 7 – assigns the second value to the duration of the interregulatory period Tmr ; 8 – compares the new value of Tmr with the service life of the machine Tr ; 9 – organizes the output of the results of calculating the parameters of technological service life to the Excel letter; 10 – terminates the subroutine and returns to the main program.

The modeled pattern of changes in the technological accuracy of the machine tool makes it possible to determine the time and number of adjustments of the machine tool during the overhaul period in order to ensure its operable condition in terms of the technological accuracy parameter.

3. Results and discussion. 3.1 Input data for simulation modeling regarding machine operating conditions. To simulate the pattern of changes in machining accuracy during the overhaul period of the machine and to determine the time and number of machine adjustments, it is necessary to identify the operating conditions of the machine according to the requirements for machining accuracy.

1. Depending on the nominal size of the part and the quality of machining, it is necessary to set the zone of error tolerance δ_n , taking into account the condition that all machines must correspond to a high accuracy class with machining according to quality grade 12, 13, 14.

2. The initial field ω_l of a new machine should be $0.2 \delta_n$, and for used machines (4-10 years of operation) under investigation, it is accepted within $0.4-0.6 \delta_n$. The final scattering field ω_k is taken to be more than the tolerance zone by 5%, that is, by the allowable percentage of rejects.

3. The operating time of the machine in the first interregulatory interval of work is accepted taking into account the time of the inter-inspection period. The duration of a standard repair cycle for machine tools of category II (weighing 1–5 tons) is equal to $T_u = 11200$ hours of machine operation. The structure of the cycle for machines of category II includes 15 intervals (inspections, running-, medium-, and major repairs) with a length of 746 hours. The interval time may vary depending on the value of the coefficients:

$$T_u = 11200 K_1 K_2 K_3, \quad (10)$$

where: K_1 – coefficient of machine type (general purpose – 1.25, specialized – 1.0); K_2 – machine tool service life factor (machine tools manufactured by 1988 – 1.0; after 1988 – 1.2-1.4); K_3 – service life coefficient (machines that have undergone two major repairs – 1.0; three major repairs – 0.98; four major repairs – 0.95; five major repairs – 0.9).

3.2. Simulation results of changes in the technological accuracy of machine tools for the overhaul period. Based on the specified conditions, the modeling of the pattern of changes in the technological accuracy of the SKTP505-2 horizontal band saw machine was carried out (Fig. 7).

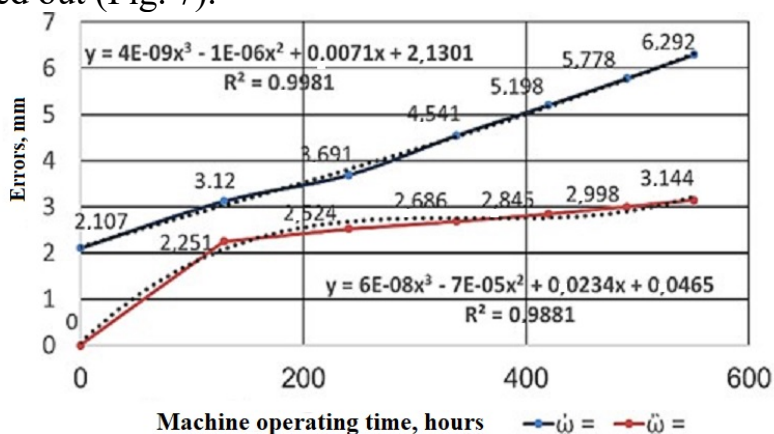


Fig.7. Simulation results of changes in the technological accuracy of the SKTP505-2 machine during the overhaul period

Based on the results of the simulation, the patterns of changes in the scattering field of machining errors and wear of the SKTP505-2 machine were established in the form of regression equations that are adequately described by polynomials of the third degree:

$$\omega = 4 E-09 t^3 - 1E-06 t^2 + 0.0071 t + 2.13 ; \quad (11)$$

$$\lambda_e = 6 E-08 t^3 - 7E-05 t^2 + 0.0234 t + 0.047. \quad (12)$$

To ensure the operability of the machine in accordance with the criterion of technological accuracy during the overhaul period, a constantly decreasing frequency of machine adjustment is determined (Fig. 8). It was found that in order to ensure the accuracy of sawing wood on the SKTP505-2 machine within ± 2.5 mm, it is necessary to perform three adjustments with the following frequency: $T_1 = 189$ hours, $T_2 = 144$ hours and $T_3 = 109$ hours.

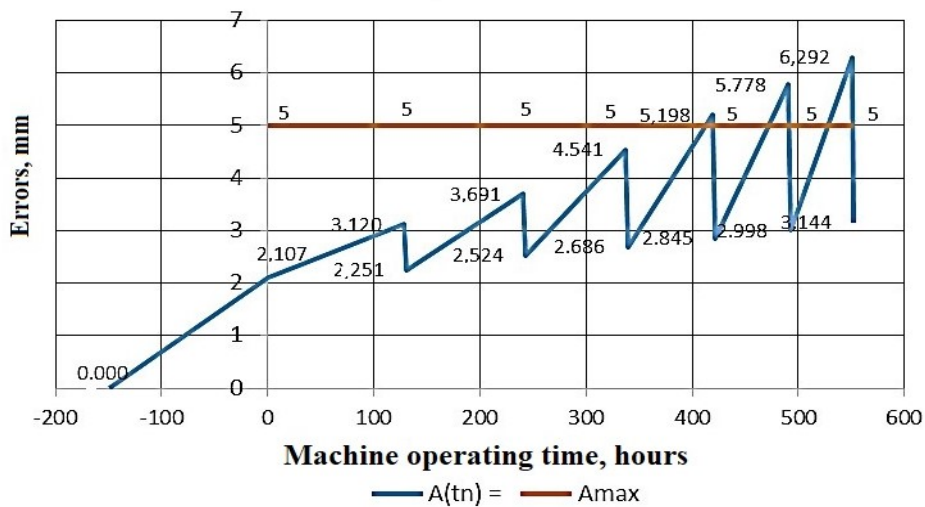


Fig. 8. Simulation results of the frequency of adjustments of the SKTP505-2 machine during the overhaul period of its operation

Modeling of changes in the technological accuracy for the following woodworking machines has been carried out: band saws of brands SKTP505-2 and LT-20; circular saws for orthosawing, brands Barakuda-2 and UN-500; circular saws of through-passage and position-oriented types of brand VK-40; milling machines of brands AD741 and CP6-9, four-side plano milling machines of brands S-20 and Unimat-17A; also the duration of interregulatory intervals with an average number of up to three was determined (Fig. 9).

Based on the analysis of the results of modeling changes in the technological accuracy of machines for sawing and milling wood, it was found that the shortest period of operation for band saw machines is up to 190 hours, for circular saw machines – up to 480 hours, and for milling machines – up to 840 hours. The results of statistical modeling of the pattern of changes in the technological accuracy of the machines are correlated with operational data with an accuracy of up to 7%, which confirms the reliability of the modeling results. Determining the maximum operating time of the machine tool makes it possible to timely perform the next adjustment of the machine to restore its operable condition in accordance with the criterion of technological accuracy. Based on the results of modeling the technological service life according to the parameter of the

accuracy of processing data of the machines, it was found that in order to ensure the operable condition during the overhaul period, each machine needs three adjustments to be performed at a specified interval.

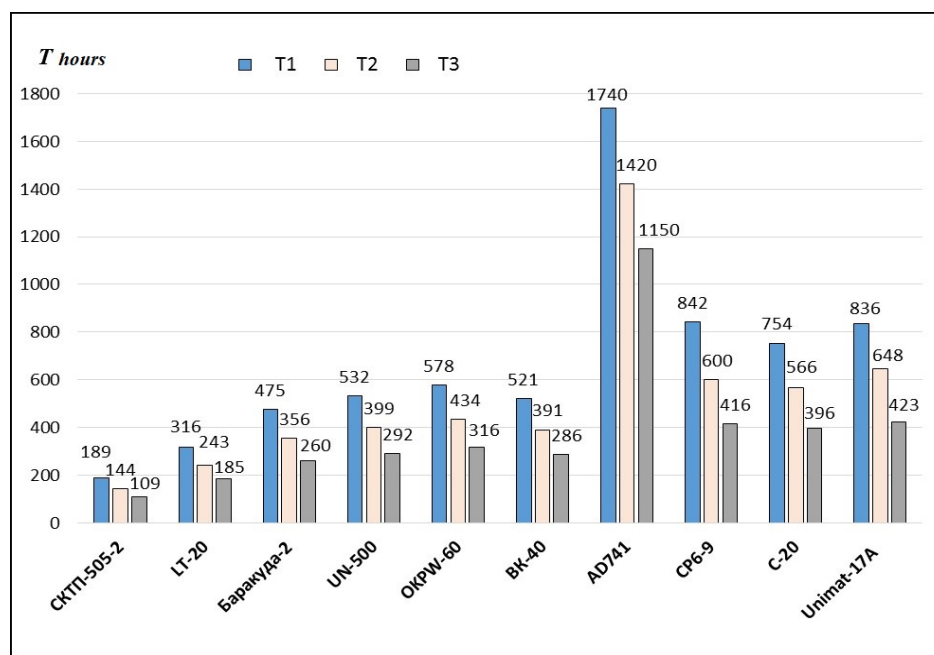


Fig. 9 – Diagram of the duration of interregulatory intervals of machine operation

Conclusions: 1. A pattern of changes in technological accuracy during the overhaul period was identified, which made it possible, on the basis of the statistical modeling method, to develop the *ModDynToch* simulation model-program for changing the technological accuracy of the machine tool with the determination of the time between failures and the required number of machine adjustments during the overhaul period. 2. Based on the results of the simulation of changes in the technological accuracy of a number of machines for sawing and milling wood, it was found that in order to ensure the operability during the overhaul period, each machine requires three adjustments to be made at a certain interval. 3. The results of statistical modeling of the patterns of changes in the technological accuracy of machine tools for the period between repairs correlate with operational data with an accuracy of up to 7%, which confirms the reliability of the simulation results.

References

1. **Shostak, V.V.; Savchuk, Ya.I.; Grigoriev, A.S. et al.** (2007). General purpose woodworking machines. Kyiv: Znannia. 279, (in Ukrainian).
2. **Kiryk, M.D.** (2006). Machining of wood and wood-based materials. Textbook for higher education institutions. Lviv: Koliorove nebo. 412, (in Ukrainian).
3. **Shostak, V.V.** (2000). Installation, maintenance and repair of woodworking equipment. Textbook for higher education institutions. UkrSFU. Lviv: Akhil Publishing House. 284, (in Ukrainian).
4. **Manzhos, F.M.** (1959). Accuracy of wood machining. M: Gosles-bumizdat. 265, (in Ukrainian).
5. **Komarov, G.A.** (1985). The accuracy of wood cutting machines. Dimensional adjustment. Training manual. M: MLTI. 56, (in Russian).
6. **Pylypchuk, M.I.; Burdiak, M.R.** (2009). Methods for researching the accuracy of log sawing on the Yasen-Barracuda machine. *Scientific Bulletin of UNFU* 19(8): 156–161, (in Ukrainian).
7. **Burdiak, M.R.** (2014). Increasing the technological accuracy of circular saw machines for orthogonal sawing of logs: dissertation for earning Ph.D.: 05.05.04. Lviv. 225, (in Ukrainian).
8. **Pylypchuk, M.I.; Stepanchuk, S.P.** (2005). Study of accuracy indicators of sawing logs on a horizontal band saw machine. *Scientific Bulletin of UNFU* 15(3):133–138, (in Ukrainian).

9. **Stepanchuk, S.P.** (2012). Increasing the accuracy of sawing wood on horizontal bandsaw machines: dissertation for earning Ph.D. in Technical Sciences: 05.05.04. Lviv. 234, (in Ukrainian).
10. **Pylypchuk, M.I.; Taras, V.I.** (2016). Study of the accuracy of sawing wood with a circular saw with group arrangement of cutting elements. *Bulletin of the P. Vasylenko KhNTU SG: collection of works*. Kharkiv: KP "City Printing". Issue 178: 55–61, (in Ukrainian).
11. **Taras, V.I.** (2019). Increasing the accuracy of wood ripping on circular saw machines: dissertation for earning Ph.D. in Technical Sciences: 05.05.04. Lviv. 264, (in Ukrainian).
12. **Amalytsky, V.V.** (2002). Reliability of machines and equipment of the forest complex: textbook for universities. M.: Moscow State University. 279, (in Russian).
13. **Pylypchuk, M.I.** (1984). Improving the accuracy of calibrating-grinding wood particleboards with abrasive disks: dissertation for earning Ph.D. in Technical Sciences: 05.06.02. Lviv. 206, (in Ukrainian).
14. **Pylypchuk, M.I.** (2010). Development of the methodology for researching technological accuracy of woodworking machines. *Agricultural machines: collection of works*. Ministry of Education and Science of Ukraine. Lutsk: Academic Press: LNTU. Issue 20: 259–265, (in Ukrainian).
15. **Pylypchuk, M.I.** (2015). Methodology for studying the dynamics of technological accuracy of woodworking machines. *Scientific Bulletin of UNFU* 25(6): 311–317, (in Ukrainian).
16. **Shostak, V.V., Poloz, V.I.** (2011). Predicting the reliability of chipboard production equipment. *Vik. Kolomyia*. 268, (in Ukrainian).
17. **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).
18. **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. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.212484>.
19. **Gayda S.V., Kiyko O.A.** (2020). The investigation of properties of blockboards made of post-consumer wood. *Poznan : Drewno*, 63(206), 77-102. <https://doi.org/10.12841/wood.1644-3985.352.10>.

УДК 674.05 Проф. М.І. Пилипчук, д-р техн. наук; інж. В.І. Тарас, канд. техн. наук; доц. М.Р. Бурдяк, канд. техн. наук; магістрант В.Т. Жмудик – НЛТУ України doi: <https://doi.org/10.36930/42214707>

Закономірність зміни технологічної точності деревообробних верстатів упродовж міжремонтного періоду роботи

Встановлено закономірність зміни технологічної точності верстата упродовж міжремонтного періоду роботи у вигляді поліноміальної залежності, що дає змогу визначати час і кількість виконання регулювань верстата для забезпечення його працездатного стану за критерієм технологічної точності. На основі методу статистичного моделювання розроблено імітаційну модель-програму «ModDynToch» зміни технологічної точності верстата з визначанням напрацювання на відмову та необхідної кількості регулювань верстата упродовж міжремонтного періоду роботи. За результатами виконаного моделювання зміни технологічної точності низки верстатів для розпилювання та фрезування деревини встановлено, що для забезпечування працездатного стану упродовж міжремонтного періоду роботи кожен верстат потребує виконання з визначеним інтервалом трьох регулювань. На основі аналізу результатів моделювання зміни технологічної точності верстатів для розпилювання та фрезування деревини встановлено, що найменший період роботи у стрічковопилкових верстатів – до 190 год., у круглопилкових верстатів – до 480 год., а у фрезувальних – до 840 год. Результати статистичного моделювання закономірності зміни технологічної точності верстатів упродовж міжремонтного періоду роботи корелюються із експлуатаційними даними з точністю до 7%, що підтверджує достовірність результатів моделювання.

Ключові слова: Імітаційна модель, точність оброблення, верстат, ремонт.

ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ РІЗНИХ ОПОРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПЛОЩИН

Розроблено конструкції та виконано технічний опис опорних елементів функціональних площин ґратчастих меблів квадратного перерізу з такими габаритними розмірами 740×54×54мм для порівняння. Розроблено методику вивчення виробничих процесів виготовлення опорних елементів з текстурою деревини бука. Побудовано технологічні процеси з підбором сучасного устаткування для виробництва опорних елементів. Зроблено порівняння розроблених технологічних процесів. Розраховано необхідні матеріали та устаткування, щоб виготовити 3 різновиди сучасних опорних елементів функціональних площин ґратчастих меблів певної конструкції. Розроблено маршрути технологічних процесів та представлено планування цехів для трьох опорних елементів різних конструкцій. Розраховано економічну доцільність та ефективність вибраного варіанту, тобто одного із трьох для певного опорного елемента для функціональної площини ґратчастих меблів. Числовий розрахунок всіх варіантів показав наступне, що третій варіант виготовлення опорних елементів з текстурою деревини квадратного перерізу (54х54 мм) довжиною 740 мм є оптимальним, де вартість на обладнання становить 857,22 тис. грн, кількість працюючих 10 чол, загальна потужність становить 33,75кВт. Також слід відзначити, що за третім варіантом утворюється найменше деревинних відходів, зокрема у кількості 98,19 м³, а вартість матеріалів на комплект ніжок у кількості 4 штук є найменшим, що становить 380 грн. у порівнянні з іншими варіантами. Найвище значення показника економічної ефективності – за третім варіантом інвестиційних вкладень, який становить 0,202. Термін окупності за цим варіантом становить 4,96 року. У даному варіанті виготовлення опорних елементів з текстурою деревини квадратного перерізу є достатньо прийнятна найнижча собівартість (11089,36тис. грн.). Це ж саме стосується одержаного прибутку за даним варіантом (1996,08 тис. грн.). Позитивним є те, що даний варіант має найменші капіталовкладення (9896,84 тис. грн). Тому, третій варіант виготовлення опорних елементів для функціональних площин ґратчастих меблів, в якій основа із трьох склеєних по пласті рейок із ДСП товщиною 16мм квадратного перерізу 48(16×3)мм×48мм, а личківка за перерізом ніжки зі шпону бука товщиною 3 мм є найефективнішим та привабливішим для виробництва.

Ключові слова: опорні елементи, конструкції ніжок, технологічні процеси, склеювання, порівняння, економічна ефективність, технологія, порівняльний аналіз, міцність, довговічність.

Вступ. Функціональність столу характеризується його висотою від підлоги та вмістимістю одночасного розташування членів родини для прийняття їжі. Комфорт та зручність перш ж за все. Але краса, естетика, стійкість та міцність столу визначається не тільки робочою площиною, але і опорними елементами, якими і є ніжки столу, що беруть навантаження на себе від наповнення поверхні

¹ Гайда Сергій Володимирович – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, доктор технічних наук, професор кафедри технологій меблів та виробів з деревини. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: 032-238-45-04, +38-067-791-25-22. E-mail: serhiy.hayda@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7468-5661> ResearcherID: ABB-1636-2021 Scopus/authorID=57221587964

² Салапак Любов Василівна – старший викладач, кафедра прикладної механіки і технології матеріалів. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: 032-238-45-04. E-mail: lyubov.salapak@nltu.edu.ua

³ Лесів Лев Едуардович – магістрант кафедри технології меблів і виробів з деревини. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: 032-238-45-04, +38-097-127-42-26. Email: levlesiv123@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3959-5447>

столу і посудом і харчами і не тільки. Інтер'єр квартир – це лице господаря будинку. Будь які меблеві вироби, що оточують членів сім'ї чи родини на житловій площі мають бути зручними функціональними, надійними та сучасними. Атрибутом сучасної кухні, де збирається всі члени сім'ї, є зрозуміло обідній якісний та розбірний стіл, який із віком може стати вживаною деревиною [31-40].

Таким чином, актуальним постає питання конструкції столу, доступності вартості цього меблевого виробу, особливостей виготовлення складових елементів, не погіршуючи естетики та сучасності конструкції. Зокрема, і в цій роботі будуть розглянуті різні конструкції ніжок та особливості їх виготовлення.

Мета дослідження – вибір оптимального технологічного процесу шляхом порівняльного аналізу виготовлення трьох видів опорних елементів для функціональних площин ґратчастих меблів.

Об'єкт дослідження – технологічні процеси щодо виготовлення опорних елементів для функціональних площин ґратчастих меблів.

Предмет дослідження – порівняльний аналіз технологічних процесів машинного цеху з виробництва опорних елементів функціональних площин ґратчастих меблів (ніжок) квадратного перерізу (54x54 мм) довжиною 740 мм.

Завдання досліджень технологічних процесів машинного цеху з виробництва опорних елементів функціональних площин ґратчастих меблів (квадратного перерізу (54x54 мм) довжиною 740 мм.

1. Здійснити технічний опис опорних елементів різних конструкцій.
2. Описати існуючі технологічні процеси деревооброблення під час виготовлення опорних елементів.
3. Розробити методику вивчення виробничих процесів виробництва опорних елементів з текстурою деревини бука.
4. Розробити технологічний процес під час виробництва опорних елементів функціональних площин ґратчастих меблів.
5. Виконати підбір сучасного устаткування технологічного процесу.
6. Виконати порівняння технологічних процесів виготовлення опорних елементів функціональних площин ґратчастих меблів.
7. Розрахувати необхідні матеріали та обладнання, щоб виготовити 3 різновиди опорних елементів функціональних площин ґратчастих меблів.
8. Розробити планувань цехів, щоб виготовити 3 різновиди сучасних опорних елементів функціональних площин ґратчастих меблів певної конструкції
9. Розрахувати економічну доцільність та ефективність раціонального варіанту виготовлення, одного із трьох, для певного опорного елемента для функціональної площини ґратчастих меблів.

Стан питання. Поверхню, на якій людина виконує різні роботи, називають столом. За функціональним призначенням розрізняють столи обідні, письмові, комп'ютерні, для засідань, приставні, сервірувальні, журнальні, туалетні, гри, столи-тумби, пульти та ін. До столів можна також віднести такі вироби, як кафедра, пюпітр, мольберт тощо, робоча поверхня яких слугує для підтримання відповідних матеріалів на певному рівні від підлоги. Парта також є учнівським письмовим столом, що Конструктивно сполучений із лавкою. Робочими називають столи, які використовують у виробничих умовах для виконання технологічних операцій, і

їхні функціональні розміри залежать від розмірів предмета праці та пози людини при виконанні цієї операції.

Переважно столи є виробами мобільними, проте можуть бути стаціонарними, коли вони закріплюються на одному місці. Відкидні площини, що закріплюються до задніх спинок сидінь, наприклад у кріслах літака, що призначені для прийняття їжі, письма, читання, праці з комп'ютером тощо, також можна назвати столиками. Столи обідні, або столи для прийняття їжі за висотою робочої поверхні можна поділити на три типи. Столи висотою до 500 мм традиційно використовуються в мусульманському світі. Столи висотою 720+750мм – коли їдять сидячи на стільцях, і столи висотою більше 1000 мм – коли їдять стоячи, притаманні європейцям. Такі столи на трьох ніжках стародавні греки (IV ст. до н. е.) називали «трапеза». В мистецтві народів Західної Європи XI-XII ст. перше місце посідає сундук (скриня), що прижився на багато століть і служив столом, стільцем, шафою і навіть ліжком.



Рис. 1. Фото та конструкція столу обіднього з висувними долішніми напівстільницями

Залежно від конструктивного рішення столи можуть бути нерозбірними або розбірними. Перевагу надають розбірним столам, що дає змогу спростити технологічний процес їхнього виготовлення і створює зручність під час пакування. Робоча поверхня столів може бути суцільною або складати- та транспортування з декількох частин у столах, що трансформуються. Залежно від способу трансформації стільниці столи можуть бути розсувними, розкладними і складними. Столи складаються з двох основних вузлів-стільниці та підстілля. Термін «стільниця» означає горішню площину (щит, скло тощо), що розташована над підстіллям. Ця площина може бути суцільною або складатися з окремих частин. Підстілля-опора для стільниці містить царговий пояс із ніжками і пристроями для трансформації. Обідні побутові столи конструюють **нетрансформованими та трансформованими**. Обідній стіл складається з кришки, підстілля, ящиків, що трансформують пристроїв. Опори, що складаються з чотирьох ніжок і царг, застосовують в трансформованих та нетрансформованих столах. За формою ніжки можуть бути квадратними, прямокутними та круглими.

Розміри квадратних ніжок у перерізі повинні бути не менше 45x45 мм, в основному 54x54 мм, прямокутних – 60x45 мм, круглих – діаметром Ø 50 мм. Про

такі розміри ніжок описує в своїй книжці «Довідник домашнього майстра : вироби з деревини» вчений Бобиков П.Д. Ширина царг 90-100, товщина не менше 19 мм [30].

Наприклад вчений Дячун З.Й. [10] рекомендує перерізи ніжок у міліметрах для обідніх столів такі: 60х60, 52х52, 60х44, Ø54. Вчені Гайда С.В. та Войтович І.Г. у своїх працях [7, 27] рекомендують оптимальним варіантом виготовлення опорних елементів квадратного перерізу 44х44, 48х48, 52х52, 56х56, 60х60 мм.

Столи обідні промисловими підприємствами виготовляються з розбірним підстілком (*зі знімними ніжками*), щоб зменшити об'єм при транспортуванні. Способи кріплення знімних ніжок обідніх столів за допомогою скріплювачів з деревини, металевої шпильки і стандартної шайби. Ніжки можуть бути прямолінійними скошеними в одному або в декількох напрямках, кабріоль або класичні, стояти вертикально або з нахилом у різних напрямках, що визначає дизайнер. Нині використовують металеві кутники-скріплювачі.

Ніжки квадратного або прямокутного перерізу безпосередньо до стільниці можна закріплювати шурупами за допомогою спеціальних кутових кутників. Для конструювання підстілля нерозбірних столів також можна використати спеціальні кутові кутники, які дають змогу одночасно з'єднувати між собою царги з ніжками і стільницею. Перевагу надають столам розбірним, тобто зі знімними ніжками, незалежно від їхнього функціонального призначення. Ніжки та царги виготовляють із деревини листяних або шпилькових порід, інколи з композиційних матеріалів, поверхні яких мають бути личковані шпоном.

Технологічні особливості виготовлення обідніх столів, зокрема опорних опорних елементів. Технологічні процеси виготовлення монолітних ніжок столів включають наступні операції:

1. Розкрій дошок твердолистяних або хвойних порід на кратні відрізки;
2. Розкрій кратних відрізків на рейки заданої ширини;
3. Чотирибічне фрезерування рейок;
4. Розкрій на кратні чистові заготовки;
5. Надання чистовим заготовкам форми деталі (отвори, гнізда, скоси, фаски, пази та інше за потреби)

Технологічні процеси виготовлення комбінованих ніжок столів включають наступні операції:

1. Розкрій дошок твердолистяних або хвойних порід на кратні відрізки;
2. Розкрій кратних відрізків на рейки заданої ширини;
3. Чотирибічне фрезерування рейок;
4. Розкрій на кратні чистові заготовки;
5. Личкування поверхонь брусків хвойних порід, матеріалом - шпоном цінних порід, наприклад бука.
6. Як варіант, внутрішнє наповнення ніжок може бути з будь якої породи, або навіть з композиційного матеріалу.
7. Дальше традиційно : надання чистовим заготовкам форми деталі (отвори, гнізда, скоси, фаски, пази та інше за потреби).

Надання чистовим заготовкам форми деталі – це процес виготовлення столів обідніх з прямокутним нерозбірним підстіллям вкладним із попередньо підготовлених деталей включає основні операції, що виконуються в наступній послідо-

вності: формування в царгах і ніжках шипів і гнізд, ормування в царгах пазів і гнізд для опорного, ходових брусків і качалки, складання боковин підстілля «насухо», склеювання шипових з'єднань боковин, складання підстілля «насухо», склеювання та обробка підстілля, кріплення опорного бруска, навішування вкладних елементів на петлі, кріплення качалки та ходових брусків, встановлення вкладного елемента в підстіллі, перевірка зусиль.

При розмітці ніжок передбачають їх відпилювання після збирання підстілля. Для цієї мети довжина ніжок вгорі столу повинна бути на 40-50 мм більшою за передбачену проектом. Якщо довжина ніжок підстілля відповідає проектній, то в місцях сполучень шипів царг із гніздами ніжок під час збирання може статися розкол деревини, внаслідок чого порушиться характер з'єднання.

Методика та матеріали. Для здійснення порівняльних досліджень прийнято три види опорних елементів (рис. 2), зроблених з різних матеріалів з різними технологічними підходами. Щодо матеріалів, то тут варіантів застосування є багато. Зокрема, це може бути первинна деревина [1, 3, 6-9, 26-30], вживана деревина [2, 4, 5, 12, 17, 18, 21-25], деревинні залишки [3, 5, 14, 16, 17, 20], зрошені заготовки [1, 3, 9, 11, 13-15, 19], композиційні матеріали [7, 13, 22-25], комбінації матеріалів.

Розглянемо конструкції опорних елементів різних конструкцій, зокрема проаналізуємо поперечний переріз, тобто конструктивні складові (рис. 3):

1. Опорний елемент для функціональних площин ґратчастих меблів з натуральної монолітної (масивної) деревини бука квадратного перерізу (54х54 мм) довжиною 740 мм;

2. Опорний елемент для функціональних площин ґратчастих меблів, в якій основа із хвойної деревини ялиці квадратного перерізу 48х48мм, а личківка за перерізом опорного елемента зі струганого шпону бука товщиною 3 мм;

3. Опорний елемент для функціональних площин ґратчастих меблів, в якій основа із трьох склеєних по пласті рейок із ДСП товщиною 16мм квадратного перерізу 48(16×3)мм×48мм, а личківка за перерізом опорного елемента зі струганого шпону бука товщиною 2 мм.

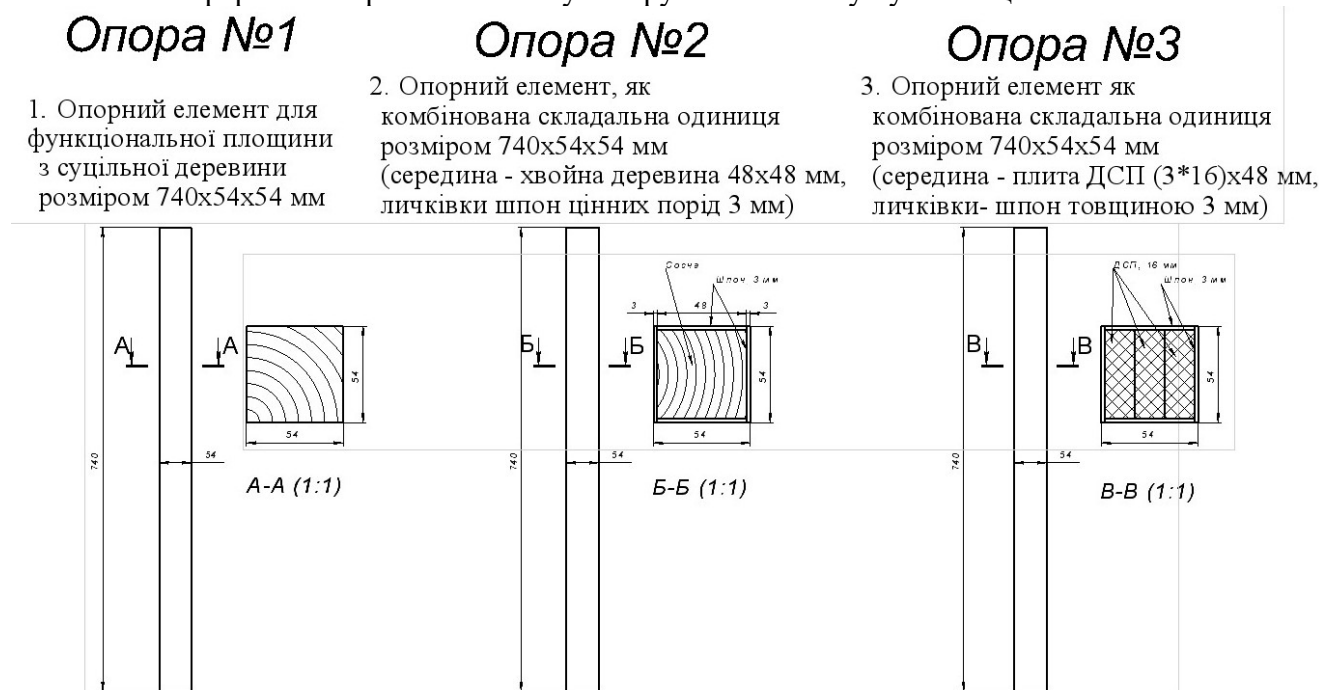


Рис. 2. Три види опорних елементів для дослідження

Тепер меблевими підприємствами продукуються великий асортимент ніжок до різних видів столів. Для досліджень вибрано проаналізовані три різні констру-

кції з різних матеріалів, що мають різну ринкову ціну за собівартістю виготовлення та за походженням.

Обґрунтування та опис технологічного процесу. У деревообробленні, зокрема меблевому виробництві технологічні процеси під час виготовлення опорних опорних елементів включають наступні технологічні операції залежно від конструкції конструктивних елементів:

1. Вхідний контроль всіх сировинних та покупних матеріалів, які мають відношення до виробництва столів, а саме опорних ніжок, зокрема.
2. Розкроювання дошок твердих листяних порід на кратні відрізки дошок
3. Розкроювання кратних відрізків дошок на рейки заданої ширини
4. Створення базової поверхні на отриманих рейках
5. Чотирибічне фрезерування, якщо достатньо то двобічне фрезерування
6. Поперечний розкрій фрезерованих рейок з одержанням заготовок.
7. Надання чистовим заготовкам форми деталі, що включає виконання наступних технологічних операцій: формування гнізд різної форми, свердління отворів, формування пазів, формування шипів, торцювання під різними кутами, без вкорочення ніжок, склеювання, шліфування, формування фасок, опорядження.
8. Контроль якості опорних опорних елементів певної конструкції.
9. Складання опорних опорних елементів на складі готової продукції.

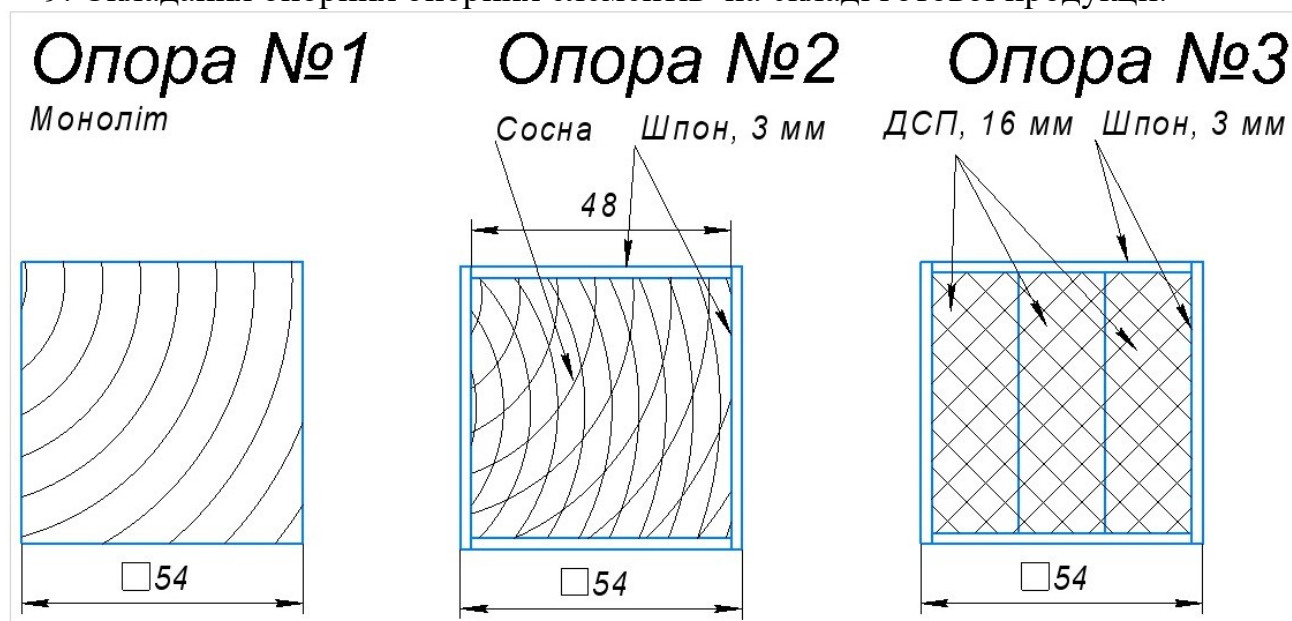


Рис. 3. Три види перерізів опорних елементів різних конструкцій

Обґрунтування та методика порівняння технологічних процесів. Основні методологічні показники порівняння технологічних виробничих процесів з виробництва опорних елементів за розробленими конструкціями є такими:

- Порівняння вартості обладнання та його аналіз, що буде задіяне під час виготовлення опорного елемента для функціональних площин певної конструкції, тобто для трьох технологічних процесів.
- Порівняльний аналіз закупівельних цін на матеріали для створення опорних елементів за розробленими конструкціями та визначення собівартості опорних елементів кожного виду.
- Порівняльний аналіз кількості виробничого персоналу для технологічних процесів для створення опорних елементів за розробленими конструкціями.
- Визначення продуктивного та раціонального техпроцесу для створення трьох опорних елементів різних конструкцій виходячи із вартості обладнання, кількості працюючих та витрат на електроенергію, яка напряму зв'язана з виробничою потужністю підбраного устаткування.

Порівняльні результати технологічних процесів виготовлення опорних елементів за розробленими конструкціями

Визначення потреби в матеріалах для створення трьох опорних елементів за розробленими конструкціями (табл. 1).

Таблиця 1. Розрахунок матеріалів для трьох типів опорних елементів

№	Найменування	Одиниці	Ціна за 1	Норма на виріб	Витрата на програму	Вартість на програму, тис. грн
1	Бук, м3	м3	19900	0,02449	367,347	7310,20
2	Шліфшкурка, м2	м2	161	0,01918	287,712	46,32
	РАЗОМ (В1)					7356,53
1	Сосна, м3	м3	7430	0,01674	251,053	1865,32
2	Шпон струг, м2	м2	185	1,54611	23191,579	4290,44
3	Клей ПВА	кг	85	0,21738	3260,736	277,16
2	Шліфшкурка, м2	м2	161	0,01918	287,712	46,32
	РАЗОМ (В2)					6479,25
1	ДСП, м3	м3	6420	0,00996	149,328	958,69
2	Шпон струг, м2	м2	185	1,54611	23191,579	4290,44
3	Клей КФ	кг	85	0,07672	1150,848	97,82
3	Клей ПВА	кг	94	0,21738	3260,736	306,51
2	Шліфшкурка, м2	м2	161	0,01918	287,712	46,32
	РАЗОМ (В3)					5699,78

Розроблення планів цехів. Плани діляниць цехів з підібраним устаткуванням для одержання чистових меблевих заготовок, на прикладі опорних елементів для функціональних площин подані у табл. 2. та рис. 4-6.

Таблиця 2. Характеристики верстатів

Обладнання	Модель		ціна, тис. грн	Всього	Потужність, кВт	Завантаження	ПВП, чол
Фугувальний	MB:506F	1	128,65	128,65	5,50	36,14	2
4-бічний	MB:4020E	1	178,94	178,94	11,50	28,13	2
Торцювальний	DB:300	1	98,82	98,82	2,20	21,73	1
Шліфувальний	MM:2617	1	110,25	110,25	4,00	35,50	1
РАЗОМ (В1)		4		516,66	23,20	30,38	6
Фугувальний	MB:506F	1	128,65	128,65	5,50	36,14	1
4-бічний	MB:4020E	1	178,94	178,94	11,50	28,13	2
Торцювальний	DB:300	1	98,82	98,82	2,20	21,73	1
Гільйотинні ножиці	GG-150	1	143,35	143,35	5,50	11,15	1
Вальці	KB-9	1	60,10	60,10	2,10	28,06	2
Личкувальний	MFBZ:3P	1	105,43	105,43	3,80	12,94	1
Шліфувальний	MM:2617	1	110,25	110,25	4,00	35,14	1
РАЗОМ (В2)		3		825,54	34,60	24,76	9
Формат	MJ:90:KB	1	147,50	147,50	5,85	9,24	1
Рейсмус	MB:204AE	1	124,30	124,30	7,15	35,16	2
Вайма	ZD:210U	1	55,52	55,52	3,20	23,90	1
Торцювальний	DB:300	1	99,99	99,99	2,25	21,73	1
Гільйотинні ножиці	GG-150	1	151,12	151,12	5,35	11,15	1
Вальці	KB-9	1	63,11	63,11	2,10	70,15	2
Личкувальний	MFBZ:3P	1	105,43	105,43	3,80	12,94	1
Шліфувальний	MM:2617	1	110,25	110,25	3,75	35,14	1
РАЗОМ (В3)		8	857,22	857,22	33,45	27,43	10

Варіант 1 : Ніжка столу обіднього з суцільної деревини дуба розміром 750х52х52 мм

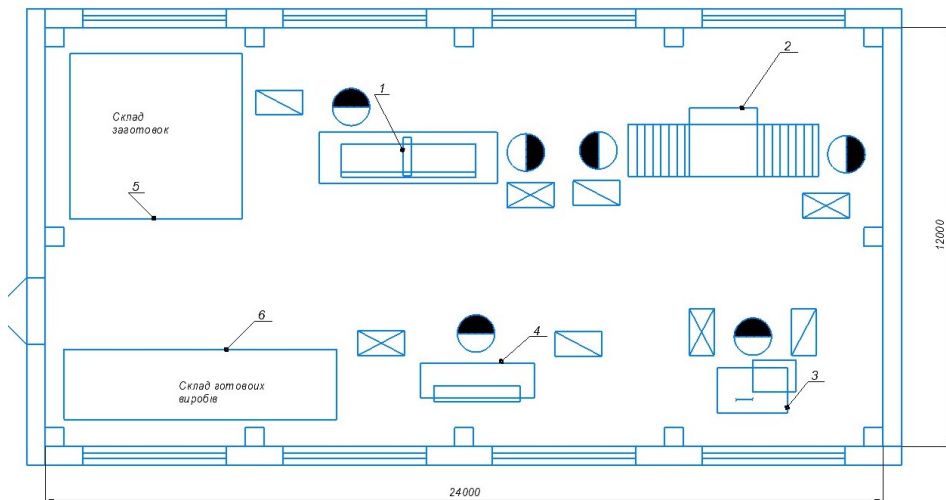


Рис. 4. Планування обладнання в цеху з виготовлення опорних елементів з масивної деревини для функціональних площин

Варіант 2 : Ніжка столу обіднього комбінована складальна одиниця розміром 750х52х52 мм (середина - деревина ялиці 48х48 мм, личківки шпон дуба товщиною 2 мм)

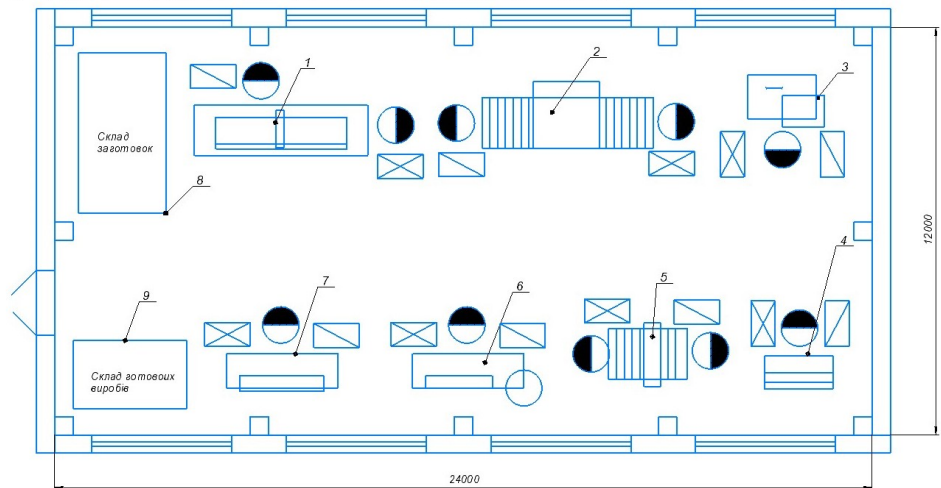


Рис. 5. Планування обладнання в цеху з виготовлення складальних опорних елементів (хвойна деревина – шпон цінних порід) для функціональних площин

Варіант 3 : Ніжка столу обіднього комбінована складальна одиниця розміром 750х52х52 мм (середина - плита ДСП (3*16)х48 мм, личківки- шпон дуба товщиною 2 мм)

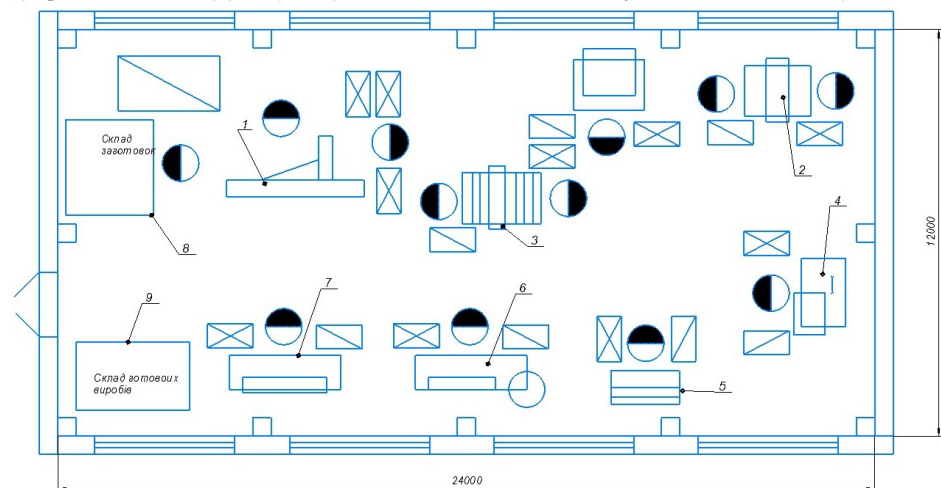


Рис. 6. Планування обладнання в цеху з виготовлення складальних опорних елементів (склеєна в три товщини ДСП – шпон цінних порід)

Аналіз меблевої галузі показав, підприємства виготовляють широкий асортимент опорних елементів. Для наших досліджень було прийнято технологічні процеси з виготовлення найпоширеніших конструкцій – трьох опорних елементів, про що зазначено в методиці. Прийнемо для усіх варіантів виробничу програму – 15000 шт. у рік. Виконаємо економічне обґрунтування вибору варіанта виробничого процесу за показником економічної ефективності.

Економічна ефективність відображає результативність цеху та вираховується співвідношенням досягнутих результатів до інвестиційних затрат:

$$EE = \Pi_{\text{доходи}} / K_{\text{даного виробництва}}$$

де: $\Pi_{\text{доходи}}$ – прибуток даного виробництва; $K_{\text{даного виробництва}}$ – капіталовкладення.

Визначимо прибуток за кожним з варіантів виробничого процесу. Для цього сформуємо кошторис виробничої собівартості виробництва продукції, який складається з таких елементів: прямі матеріальні витрати; прямі витрати на оплату праці; прямі витрати на загальнообов'язкове соціальне страхування; розподілені загальновиробничі витрати; інші операційні витрати.

Розрахунок вартості витрат на сировину та матеріали за варіантами виробничих процесів ніжок обідніх столів приведено в табл. 3.

Таблиця 3. Розрахунок вартості сировини та матеріалів

	Найменування матеріалу	Одиниці виробу	Ціна за одиницю	Норма витрат матеріалів на виріб	Витрата матеріалів на програму	Вартість на програму, тис. грн
1	Бук, м3	м3	19900	0,02449	367,347	7310,20
2	Шліфшкурка, м2	м2	161	0,01918	287,712	46,32
	РАЗОМ (В1)					7356,53
	ТЗВ (12,0 %)	12				88,28
	Всього (В1):					7444,80
1	Сосна, м3	м3	7430	0,01674	251,053	1865,32
2	Шпон струг, м2	м2	185	1,54611	23191,579	4290,44
3	Клей ПВА	кг	85	0,21738	3260,736	277,16
4	Шліфшкурка, м2	м2	161	0,01918	287,712	46,32
	РАЗОМ (В2)					6479,25
	ТЗВ (12,0 %)	12				77,75
	Всього (В2):					6557,00
1	ДСП, м3	м3	6420	0,00996	149,328	958,69
2	Шпон струг, м2	м2	185	1,54611	23191,579	4290,44
	Клей КФ	кг	85	0,07672	1150,848	97,82
	Клей ПВА	кг	94	0,21738	3260,736	306,51
	Шліфшкурка, м2	м2	161	0,01918	287,712	46,32
	РАЗОМ (В3)					5699,78
	ТЗВ (12,0 %)	12				68,40
	Всього (В3):					5768,18

Визначимо витрати на оплату праці промислово-виробничого персоналу дільниці лічкування на основі їх чисельності.

Чисельність праці промислово-виробничого персоналу складається з облікової чисельності основних робітників, допоміжних робітників (25% від чисельності основних робітників), керівників і службовців (8%). Дані розрахунків зводимо в табл. 4.

Таблиця 4. Чисельність працюючих, фонд оплати праці

	Назва показників	Одиниці	Варіант №1	Варіант №2	Варіант №3
1	Спискова чисельність у:				
	➤ виробничі робітники	осіб	6	9	10
	допоміжні робітники	- “ -	2	2	2
	➤ керівники, службовці	- “ -	1	1	1
	Разом	- “ -	9	12	13
2	Фонд оплати праці:	тис. грн.			
	виробничих робітників		1044	1566	1740
	допоміжних робітників	- “ -	276	276	276
	керівників, службовців	- “ -	222	222	222
	Разом	- “ -	1542	2064	2238

Визначимо суму розподілених загально виробничих витрат за формулою:

$$B_{\text{загально виробничі}} = (\text{Фонд оплати праці допоміжних робітників, керівників і спеціалістів} + \text{Річна сума амортизаційних відрахувань})/0,453$$

Річна сума амортизаційних відрахувань складається з суми відрахувань на будівлі та необхідне для здійснення виробничого процесу обладнання. Вид обладнання та його вартість наведена за варіантами наведена в табл. 5.

Таблиця 5. Розрахунок вартості обладнання

№	Назва	Марка	К-сть	Вартість, тис. грн.	
				Одиниці	Разом
1	Фугувальний	MB:506F	1	128,65	128,65
2	4-бічний	MB:4020E	1	178,94	178,94
3	Торцювальний	DB:300	1	98,82	98,82
4	Шліфувальний	MM:2617	1	110,25	110,25
	Разом				516,66
	Транспортно-монтажні витрати	(20 %)	20		103,33
	ЗАГАЛЬНА СУМА ВИТРАТ (B1)				619,99
1	Фугувальний	MB:506F	1	128,65	128,65
2	4-бічний	MB:4020E	1	178,94	178,94
3	Торцювальний	DB:300	1	98,82	98,82
4	Гільйотинні ножиці	GG-150	1	143,35	143,35
5	Вальці	KB-9	1	60,1	60,10
6	Личкувальний	MFBZ:3P	1	105,43	105,43
7	Шліфувальний	MM:2617	1	110,25	110,25
	Разом		7		825,54
	Транспортно-монтажні витрати	(20 %)	20		165,11
	ЗАГАЛЬНА СУМА ВИТРАТ (B2)				990,65
1	Форматно-розкрійний	MJ:90:KB	1	147,5	147,50
2	Рейсмус	MB:204AE	1	124,3	124,30
3	Вайма	ZD:210U	1	55,52	55,52
4	Торцювальний	DB:300	1	99,99	99,99
5	Гільйотинні ножиці	GG-150	1	151,12	151,12
6	Вальці	KB-9	1	63,11	63,11
7	Личкувальний	MFBZ:3P	1	105,43	105,43
8	Шліфувальний	MM:2617	1	110,25	110,25
	Разом		8		857,22
	Транспортно-монтажні витрати	(20 %)	20		171,44
	ЗАГАЛЬНА СУМА ВИТРАТ (B3)				1028,66

Амортизаційні відрахування:

Варіант №1 : $A_1 = (288 \cdot 8,00 \cdot 0,0776) + (619,99 \cdot 0,2025) = 308,06$ тис. грн.

Варіант №2 : $A_2 = (288 \cdot 8,00 \cdot 0,0776) + (990,65 \cdot 0,2025) = 385,34$ тис. грн.

Варіант №3 : $A_3 = (288 \cdot 8,00 \cdot 0,0776) + (1028,66 \cdot 0,2025) = 393,27$ тис. грн.

Розподілені загальновиробничі витрати:

Варіант №1 : $B_1 = (276,00 + 222,00 + 308,06) / 0,453 = 1779,38$ тис. грн.

Варіант №2 : $B_2 = (276,00 + 222,00 + 385,34) / 0,453 = 1949,98$ тис. грн.

Варіант №3 : $B_3 = (276,00 + 222,00 + 393,27) / 0,453 = 1967,48$ тис. грн.

Визначимо витрати на виробництво та прибуток (табл. 6)

Таблиця 6. Кошторис виробничої собівартості, тис. грн.

№з/п	Статті витрат	Варіант №1	Варіант №2	Варіант №3
1	Прямі матеріальні витрати	7444,80	6557,00	5768,18
2	Прямі витрати на оплату праці	1044,00	1566,00	1740,00
3	Відрахування на страхування	229,68	344,52	382,80
4	Розподілені загальновиробничі витрати	1779,38	1949,98	1967,48
5	Виробнича собівартість	10497,86	10417,50	9858,46
6	Витрати операційні	848,10	1135,20	1230,90
7.	Повна собівартість	11345,96	11552,70	11089,36
8	Прибуток до оподаткування	2042,27	2079,49	1996,08
9	Відпускна ціна без ПДВ	13388,24	13632,18	13085,44

Отже, найвитратнішим є другий варіант виготовлення опорних елементів для функціональних площин ґратчастих меблів, в якій основа із хвойної деревини ялиці квадратного перерізу 48мм×48мм, а личківка за перерізом опорного елемента зі струганого шпону бука товщиною 3 мм. Найменші витрати спостерігаються у третьому варіанті виготовлення опорних елементів для функціональних площин ґратчастих меблів, в якій основа із трьох склеєних по пласті рейок із ДСП товщиною 16мм квадратного перерізу 48(16×3)мм×48мм, а личківка за перерізом ніжки зі струганого шпону бука товщиною 3 мм (рис. 7).

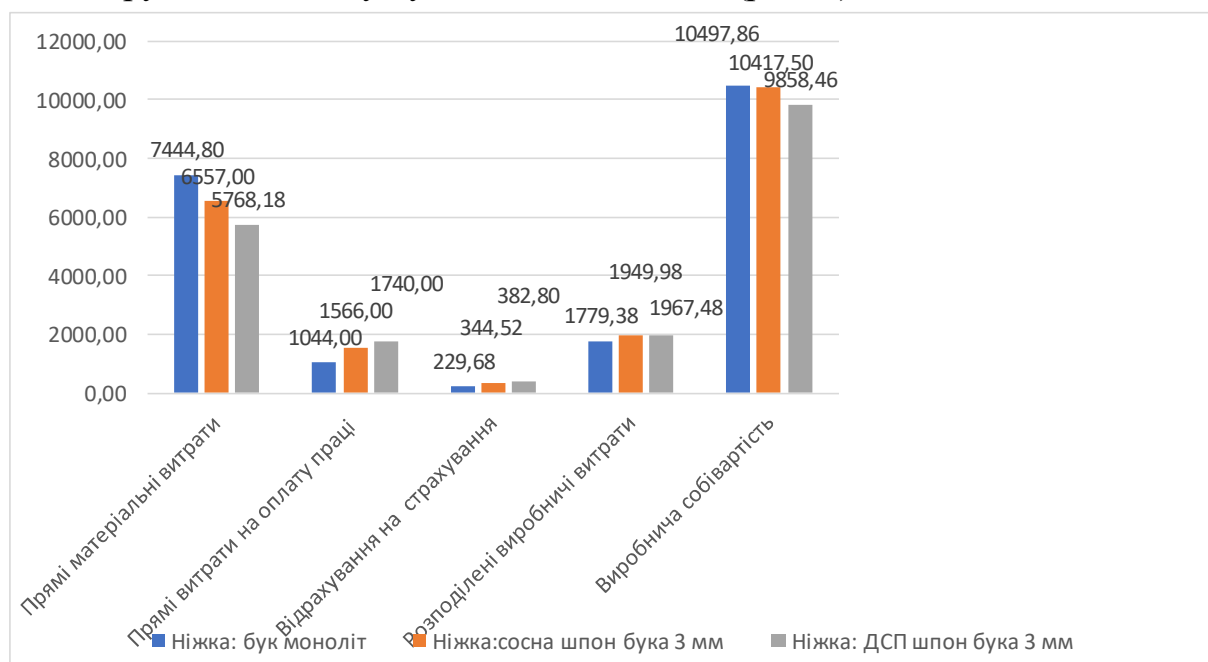


Рис. 7. Порівняльна структура виробничої собівартості виготовлення опорних елементів за трьома варіантами, тис. грн.

Розрахунок економічної ефективності капіталовкладень. Визначимо показник економічної ефективності інвестиційних вкладень та термін окупності інвестицій за варіантами. Капіталовкладеннями за усіма варіантами будуть служити витрати на закупівлю обладнання, витрати на закупівлю матеріалів для виконання річної програми та витрати на будівництво цеху (табл. 7). Найвище значення показника економічної ефективності – за третім варіантом інвестиційних вкладень. Термін окупності за цим варіантом становить 4,96 року. У даному варіанті виготовлення ніжок столів є достатньо прийнятна найнижча собівартість (**11089,36** тис. грн.). Це ж саме стосується одержаного прибутку за даним варіантом (1996,08 тис. грн.). Позитивним є те, що даний варіант має найменші капіталовкладення (9896,84 тис. грн). Тому, на нашу думку, даний **третій варіант** виготовлення опорних елементів для функціональних площин ґратчастих меблів, в якій основа із трьох склеєних по пласті рейок із ДСП товщиною 16мм квадратного перерізу 48(16×3)мм×48мм, а личківка за перерізом ніжки зі струганого шпону бука товщиною 3 мм є **найефективнішим**.

Табл. 7 Терміни окупності

ЕЕ	Прибуток до оподаткування	Вартість обладнання	Вартість матеріалів	Вартість будівлі	Сума капіталовкладень	%	Термін окупності
ЕЕ1	2042,27	619,99	7444,960	3100,00	11164,960	0,183	5,47
ЕЕ2	2079,49	990,65	6557,00	3100,00	10647,65	0,195	5,12
ЕЕ3	1996,08	1028,66	5768,18	3100,00	9896,84	0,202	4,96

Висновки. Розроблено конструкції та виконано технічний опис опорних елементів функціональних площин ґратчастих меблів квадратного перерізу з такими габаритними розмірами 740×54×54мм для порівняння. Розроблено методику вивчення виробничих процесів виготовлення опорних елементів з текстурою деревини бука. Побудовано технологічні процеси з підбором сучасного устаткування для виробництва опорних елементів. Зроблено порівняння розроблених технологічних процесів. Розраховано необхідні матеріали та устаткування, щоб виготовити 3 різновиди сучасних опорних елементів функціональних площин ґратчастих меблів певної конструкції. Розроблено маршрути технологічних процесів та представлено планування цехів для трьох опорних елементів різних конструкцій. Розраховано економічну доцільність та ефективність вибраного варіанту, тобто одного із трьох для певного опорного елементу для функціональної площини ґратчастих меблів. Числовий розрахунок всіх варіантів показав наступне, що третій варіант виготовлення опорних елементів з текстурою деревини квадратного перерізу (54х54 мм) довжиною 740 мм є оптимальним, де вартість на обладнання становить 857,22 тис. грн, кількість працюючих 10 чел, загальна потужність становить 33,75кВт. Також слід відзначити, що за третім варіантом утворюється найменше деревинних відходів, зокрема у кількості 98,19 м3, а вартість матеріалів на комплект ніжок у кількості 4 штук є найменшим, що становить 380 грн. у порівнянні з іншими варіантами. Найвище значення показника економічної ефективності – за третім варіантом інвестиційних вкладень, який становить 0,202. Термін окупності за цим варіантом становить 4,96 року. У даному варіанті виготовлення опорних елементів з текстурою деревини квадратного перерізу є достатньо прийнятна найнижча собівартість (11089,36 тис. грн.). Це ж саме стосується одержаного прибутку за даним варіантом (1996,08 тис. грн.). Позитивним є те, що даний варіант має найменші капіталовкладення (9896,84 тис. грн). Тому, третій варіант виготовлення опорних елементів для функціональних площин ґратчастих меблів, в якій основа із трьох склеєних по пласті рейок із ДСП товщиною 16мм квадратного перерізу 48(16×3)мм×48мм, а личківка за перерізом ніжки зі шпону бука товщиною 3 мм є **найефективнішим та привабливішим для виробництва**.

References

1. Gayda S.V., Ilkiv M.M. (2021) : Дослідження технологічних процесів виготовлення меблевих фасадів з масивної деревини // *Doslidzhennya tekhnolohichnykh protsesiv vyhotovlennya meblevykh fasadiv z masyvnoyi derevyiny*. [Research of technological processes of manufacture of meble facades from

solid wood]. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 47:22-33, (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42214703>

2. 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>

3. 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>

4. Gayda, S.V. (2015). Investigation of physical and mechanical properties of post-consumer wood (PCW). Actual problems of forest complex 43:175-179 (in Russian).

5. 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, 64 (3):131–142, doi: <https://doi.org/10.2478/ffp-2022-0011>

6. Gayda S.V., Petrishak I.V. (2020) : Дослідження впливу породи та режимів шліфування на питому продуктивність шліфувальної шкурки / *Doslidzhennya vplyvu porody ta rezhymiv shlifuvannya na pytomu produktyvnist' shlifival'noyi shkurky* [Study of the influence of breed and grinding modes on the specific productivity of grinding skin]. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 46:5-15 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42204601>

7. Gayda S.V., Voytovych I.G. (2020) : Дослідження технологічних процесів виготовлення ніжок столів обідніх різних конструкцій / *Doslidzhennya tekhnologichnykh protsesiv vyhotovlennya nizhok stoliv obidnykh riznykh konstruktсий* [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>

8. Gayda S.V., Kiyko O.A. (2018). Shape stability as a quality criterion for PCW-made blockboards. Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, 17, 185-192. <https://doi.org/10.15421/411834> (in Ukrainian)

9. Voytovych I.G. [2010]: Osnovy tekhnolohiyi vyrobiv z derevyny [Fundamentals of wood products technology]. – Lviv: Country of Angels, 305 p. (in Ukrainian).

10. Dyachun Z.J. [2007]: Konstruyuvannya mebliv: Korpusni vyroby [Furniture design: Cabinet products]: – Kyiv: Mohyla Academy House, 387 p. (in Ukrainian).

11. Gayda S.V., Bilyy Ya.M. (2019): Дослідження технологічних процесів виготовлення ліжок двоспальних різних конструкцій / *Doslidzhennya tekhnologichnykh protsesiv vyhotovlennya lizhok dvospal'nykh riznykh konstruktсий* [A investigation of technological processes of making beds of double different designs]. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 45:21-31 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42194504>

12. Gayda S.V. (2019): Визначення та порівняння властивостей вживаної деревини основних хвойних порід / *Vyznachennya ta porivnyannya vlastyvostey vzhivanoyi derevyny osnovnykh khvoynykh porid* [A determination and comparison of properties of post-consumer wood of the basic conifers]. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 45:38-49 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42194506>

13. Gayda S.V. (2018): Дослідження та аналіз характеристик щитових конструкцій із вживаної деревини / *Doslidzhennya ta analiz kharakterystyk shchytovykh konstruktсий iz vzhivanoyi derevyny* [A investigation and analysis of characteristics of solid furniture boards made of post-consumer wood]. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 44:14-24 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42184402>

14. Gayda S.V. (2018): Технологія МДФ-фасадів / *Tekhnolohiyi MDF-Fasadiv* [MDF Facade Technologies]. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 44:70-83 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42184410>

15. Gayda S.V., Voytovych I.G. (2017): Дослідження міцності та стійкості елементів гратчастих меблевих виробів із вживаної деревини / *Doslidzhennya mitsnosti ta stiykosti elementiv gratchastykh meblevykh vyrobiv iz vzhivanoyi derevyny* [Durability and stability of elements for beam furniture products made from post-consumer wood are investigated]. Bulletin of KhNTUA 189:62-70 (in Ukrainian).

16. Gayda S.V. (2017): A technology and properties of furniture board made of post-consumer wood. Actual problems of forest complex 48:34-38 (in Russian).

17. Gayda S.V. (2016): Ekologo-tekhnologicheskiye aspekty pererabotki vtorichno ispol'zuyemoy drevesiny dlya proizvodstva pressovannykh materialov [Ecological and technological aspects of recycling post-consumer wood for production compacted materials]. Lesnoy vestnik / Forestry bulletin of MSFU 20(3):15-22 (in Russian).

18. **Gayda S.V.** (2016): Технологічні підходи до поверхневого очищення вживаної деревини голкофрезерним інструментом / *Tekhnologichni pidkhody do poverkhnevoho ochyshchennya vzhivanoyi derevyny holkofrezernym instrumentom* [Technological approaches to cleaning of surface of post-consumer wood of needle-milling tools]. Bulletin of KhNTUA 178:3-11 (in Ukrainian).
19. **Gayda S.V., Ya.M. Bilyy** (2016): Дослідження формостійкості клеєних щитів із вживаної деревини / *Doslidzhennya formostiystosti kleyenykh shchytiv iz vzhivanoyi derevyny* [The investigation of the shape stability of glued panels made of post-consumer wood]. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 42: 69-79 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42164211>
20. **Gayda, S.V., Maksymiv, V.M.** (2007): Аналіз, особливості, проблеми та досвід використання додаткових ресурсів сировини – відходів та вживаної деревини / *Analiz, osoblyvosti, problemy ta dosvid vykorystannya dodatkovykh resursiv syrovyny – vidkhodiv ta vzhivanoyi derevyny* [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).
21. **Gayda S.V.** (2016): A investigation of form of stability of variously designed blockboards made of post-consumer wood. *ProLigno* 12(1):22-31.
22. **Gayda S.V.** (2015): *Tekhnologii i fiziko-mekhanichni vlastivosti stolyarnikh plit iz vzhivanoyi derevini* [Technology and physical and mechanical properties blockboard made of post-consumer wood]. *Technical service of agriculture, forestry and transport systems* 3(1):145-152 (in Ukrainian).
23. **Gayda S.V.** (2013): Основи формування класифікатора вторинних деревинних ресурсів / *Osnovy formuvannya klasyfikatora vtorynnykh derevynnykh resursiv* [Bases of secondary wood resources classifier formation]. *Scientific Works of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine* 11:208-215 (in Ukrainian).
24. **Gayda S.V.** (2011): Вживана деревина – додатковий ресурс сировини / *Vzhivana derevyna – dodatkovyy resurs syrovyny* [Recovered wood is additional resource of raw material]. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 37(1): 238-244 (in Ukrainian).
25. **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).
26. **Gayda S.V., Kshyvetsky B.Ya., Voytovych I.G., Prokopovych B.V.** (2002): Тлумачний словник з деревооброблення / *Tlumachnyy slovnyk z derevoobroblennya* [Explanatory dictionary from Woodworking]. Lviv: UNFU. – 280 p. (in Ukrainian).
27. **Gayda S.V.** (2018). Strength of combined blockboard made of post-consumer wood (PCW). Bulletin of KhNTUA 197:3-9, (in Ukrainian).
28. **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. <https://doi.org/10.36930/42174301> (in Ukrainian).
29. **Zayats I.M.** (1995): *Tekhnolohiya vyrobiv z derevyny* [Technology of wood products]: Kyiv, 1995. (in Ukrainian).
30. **Bobikov P.D.** (2003): *Spravochnik domashnego mastera (Izdeliya iz drevesiny)* [Handyman's Handbook (Wood Products)]: Moskov: Eksmo. – 368 p., (in Russian).
31. **Gayda S.V.** (2016). Research on physical and mechanical characteristics of front blockboards made from post-consumer wood (Дослідження фізико-механічних характеристик фасадних столярних плит із вживаної деревини). *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 42: 33-50.
32. **Gayda S.V.** (2016). Технологічні підходи до поверхневого очищення вживаної деревини голкофрезерним інструментом / *Tekhnologichni pidkhody do poverkhnevoho ochyshchennya vzhivanoyi derevyny holkofrezernym instrumentom* (Technological approaches to cleaning of surface of post-consumer wood of needle-milling tools). Bulletin of KhNTUA 178:3-11(in Ukrainian).
33. **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).
34. **Gayda S.V., Kiyko O.A.** (2021). Властивості вживаної деревини як визначальний чинник якості меблевих виробів / *Vlastyvosti vzhivanoyi derevyny yak vyznachal'nyy chynnyk yakosti meblevykh vyrobiv* (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). <https://doi.org/10.15421/412135>
35. **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 of forest complex* 38:212-216 (in Russian).

36. **Gayda S.V.** (2017). Комплексні дослідження зміни пружних властивостей вживаної деревини ялиці з віком / *Kompleksni doslidzhennya zminy pruzhnykh vlastyvostey vzhivanoyi derevyiny yalytsi z vikom* [The complex studies on the change of elastic properties of post-consumer fir wood with age]. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 43:58-72 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42174308>

37. **Gayda S.V.** (2015). Modeling properties of blockboards made of post-consumer wood on the basis of the finite element method. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 41, 39-49. <https://doi.org/10.36930/42154106>

38. **Gayda S.V.** (2011). Recycled of post-consumer wood is for the production of particleboard in Ukraine / *Proceedings of the XXI International symposium Adhesives in Woodworking Industry* (Slovakia, Zvolen Juve 29 – July 01. 2011). TU Zvolen. – P. 108-121.

39. **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 Juve 23-26. 2013). TU Zvolen, 119-130.

40. **Gayda S.V.** (2013). Розроблення технології виробництва паливних гранул на основі енергетичного потенціалу вживаної деревини (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).

UDC 684.416.2 **Prof. S.V. Gayda, Doctor of Sciences; senior lecturer L.V. Salapak; master's student L.E. Lesiv – UNFU** doi: <https://doi.org/10.36930/42214708>

Determination of an efficient technological process of manufacturing various support elements for functional surfaces

Designs were developed and a technical description was made of the supporting elements of the functional planes of lattice furniture of a square section with the overall dimensions of 740x54x54mm for comparison. A method of studying production processes of manufacturing support elements with the texture of beech wood has been developed. Technological processes have been built with the selection of modern equipment for the production of support elements. A comparison of the developed technological processes was made. The necessary materials and equipment are calculated to produce 3 types of modern support elements of the functional planes of lattice furniture of a certain design. Routes of technological processes were developed and shop layouts for three supporting elements of different structures were presented. The economic feasibility and effectiveness of the selected option, i.e. one of the three for a certain support element for the functional plane of lattice furniture, were calculated. Numerical calculation of all options showed the following, that the third option for manufacturing supporting elements with a wood texture of a square section (54x54 mm) with a length of 740 mm is optimal, where the cost of equipment is 857.22 thousand UAH, the number of employees is 10, the total power is 33.75 kW. It should also be noted that the third option produces the least rhubarb waste, in particular, in the amount of 98.19 m³, and the cost of materials for a set of legs in the amount of 4 pieces is the lowest, which is 380 hryvnias. compared to other options. The highest value of the economic efficiency indicator is for the third option of investment investments, which is 0.202. The payback period for this option is 4.96 years. In this version of the production of support elements with the texture of wood with a square cross-section, the lowest cost is quite acceptable (11,089.36 thousand hryvnias). The same applies to the profit received under this option (1,996.08 thousand hryvnias). The positive thing is that this option has the smallest capital investment (9,896.84 thousand UAH). Therefore, the third option for the production of supporting elements for the functional planes of lattice furniture, in which the base is made of three slats glued in layers from chipboard with a thickness of 16 mm with a square section of 48 (16 × 3) mm × 48 mm, and the cross-section of the legs is made of beech veneer with a thickness of 3 mm is the most effective and attractive for production.

Keywords: supporting elements, leg designs, technological processes, gluing, comparing, economic efficiency, technology, comparative analysis, strength, durability..

РОЗРОБЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗУВАННЯ ФОРМОСТІЙКОСТІ МЕБЛЕВИХ ЩИТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Запропоновано підхід прогнозування властивостей меблевих щитів із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) на основі методу скінченних елементів. З'ясовано, що в конструкціях меблевих щитів із деревини бука можна приписувати ортогональну, циліндричну або трансверсальну розрахункову схему анізотропії в залежності від розмірів меблевих щитів та орієнтації волокон в рейках. Запропоновано модель фізико-механічних властивостей монолітних або зрощених рейок із деревини бука при кінцево-елементному аналізі меблевих щитів на основі циліндричної системи координат анізотропії постійних пружності. Встановлено, що практичне використання схеми циліндричної анізотропії під час вирішення задач механіки твердого деформованого тіла для розрахунку меблевих щитів із деревини бука доцільно, коли не можливо знехтувати кривизною річ-них шарів, тобто при аналізі формостійкості меблевих щитів та монолітних чи зрощених рейок з із деревини бука при розбуханні та усушці. Розроблено прикладну методику розрахунку меблевих щитів із деревини бука, що дає можливість врахувати особливості анізотропії фізико-механічних характеристик рейок з урахуванням їх усушки і розбухання при зміні температурно-вологісних умов довкілля. Обґрунтування нових конструкцій меблевих щитів із деревини бука, яке базується на використанні систем кінцево-елементного аналізу, дозволяє виявити недоліки даних виробів на концептуальній стадії проекту і виправити їх до початку виготовлення з урахуванням заданих технічних умов. Запропоновано оптимальну схему компонування річних шарів у суміжних рейках меблевих щитів із деревини бука, яка забезпечує покращення формостійкості (зниження жолоблення) конструкції при одночасному зменшенні напружень, що виникають при збільшенні вологості виробу в процесі експлуатації. Запропоновано математичні моделі, які прогнозують (описують) міцність та формостійкість меблевих щитів із деревини бука звичайного. Розроблена модель може бути застосована для дослідження і оптимізації меблевих щитів нових конструкцій за умовами міцності та деформативності.

Ключові слова: меблевий щит, ламель, бук звичайний (*Fagus sylvatica* L.), технологія, склеювання, формостійкість, моделювання, прогнозування, зрощування, анізотропія, властивості деревини, математична модель, тепловологообмін, метод скінченних елементів, ітераційний метод, напруження, деформація, ортотропні матеріали, полівінілацетатні клеї, клейове з'єднання деревини, міцність, вологість, температура.

Стан питання та аналіз відомих джерел літератури. Одним із визначальних чинників, від якого залежить напружено-деформівний стан клеєного щита, є волога. Нерівномірне поглинання води рейками різних порід деревини може призвести до появи надлишкових внутрішніх напружень у них та, відповідно, до зміни їх формостійкості. За збільшення вологості рейки її модуль пружності зменшиться. Різниця між вологістю кожної рейки в щиті та незбалансований розподіл їх модулів пружності по площині щита неминуче призведе до збільшення напружено-деформівного стану щита і, як наслідок, до зниження його формостійкості, що в кінцевому підсумку є причиною виготовлення неякісних виробів.

Вчені Бойко С.В., Єрошенко А.М. [1], досліджуючи модифіковану деревину, виконали моделювання її фізико-механічних властивостей, користуючись ме-

¹ Подібка Тарас Іванович, аспірант, кафедра технологій меблів та виробів з деревини. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: 032-238-45-04, +38-098-415-23-94. Email: t.podibka@nltu.edu.ua ; <https://orcid.org/0009-0008-2335-9223>

тодом скінченних елементів. Науковці Дендюк М.В. [2], Соколовський Я.І., [3], Поберейко Б.П. [4] застосувати та виконали чисельне моделювання, використовуючи МСЕ, в обчисленнях нестационарних полів вологоперенесення у деревині після сушіння та полів вологості деревини, враховуючи анізотропію матеріалу.

Волинський Н.В у своїй праці [5] відзначає, що клеєні елементи, одержані з різних порід деревини потребують детальних досліджень. Велику увагу вчені надали фізико-механічним властивостям та формостійкості клеєних щитів окремих порід [6, 7, 8, 9, 10, 11], але не створили універсальних практичних рекомендацій.

Методами, що дозволяють визначати властивості деревини та прогнозувати характеристики клеєних конструкцій є традиційні (стандартні) та прогресивні (програмні, математичні) методи: розрахунковий – теоретичний; контактний – експериментальний; резонансний – імпульсний ультразвуковий; чисельний – математичний. Сьогодні існує та використовується кілька математичних методів для реалізації опису різних форм геометричних фігур у системах аналізу, які засновані на чисельних методах, зокрема скінченних елементів (МСЕ).

На цей час процес моделювання різних технологічних процесів та об'єктів має досить широке застосування у виробничій сфері. Відповідно, деревообробувальна галузь не є винятком, у ній моделювання використовують для створення моделей та процесів оброблювання деревини чи прогнозування стану деревини під час цих процесів, що сприятиме економії деревинних ресурсів [29-40], зменшенню затрат часу та підвищенню якості продукції. Моделювання напружено-деформівного стану, який визначає формостійкість щита, склеєного з однієї породи деревини методом кінцевих елементів, дає змогу отримати візуальне відтворення прогнозованої форми щита з попередньо визначеними характеристиками (порода, вологість, модуль пружності, модуль зсуву, коефіцієнти поперечної деформації).

Останнім часом завдяки розвитку інформаційних технологій широкого поширення набуло моделювання процесів виробництва [12] і з'явилася можливість дослідження напружено-деформованого стану конструкцій насамперед за допомогою методу кінцевих елементів [2], що дає можливість розробки і впровадження нових та ефективних методик розрахунку і оптимізації об'єктів проектування. Пардаєв А.С. у своїх працях [11, 13] використав МСЕ для розроблення принципів моделювання та аналізу міцності столярних виробів – шипових з'єднань та клеєних щитів. Для розрахунку напружено-деформівного стану клеєних щитів із рейок сосни він, досліджуючи формостійкість – деформації під час всихання та розбухання, також використав чисельний аналіз, який реалізував на основі МСЕ.

Використання методу кінцевих елементів для моделювання напружено-деформівного стану щита клеєного з рейок однієї породи деревини засвідчило свою ефективність та може бути застосоване для прогнозування формостійкості щитів клеєних з монолітних ламелей з врахування варіанту укладання ламелей у щитову конструкцію. Використання систем скінченно-елементного аналізу уможливорює дослідження об'єктів без виготовлення їх матеріального прототипу, шляхом створення та вирішення адекватної математичної моделі. Це дозволяє в кілька разів скоротити період конструкторсько-технологічної підготовки виробництва продукції, матеріальні витрати та оптимізувати конструкцію за певними критеріями. Відомі роботи таких вчених як Соколовський Я.І., Левкович М., Мокрицька

О. [24], Головата С., Соколовський Я.І., Поберейко Б.П. [25], Соколовський Я.І., Криштапович В.І. та ін. [26], Соколовський Я.І., Нечипуренко А. та ін. [27, 28].

Однак, застосування методу скінченних елементів, при аналізі столярних конструкцій, вимагає великих знань про сам метод, досвід роботи і наявність прикладних методик розрахунку столярних з'єднань, що враховують особливості деревного матеріалу і дійсної роботи конструкцій. Багато науковців займались формостійкістю щитових конструкцій, зокрема, Маєвський В.О., Беняк Ю.В. [14], Гайда С.В. [15-21], Кійко О.А. [10, 22], Пардаєв А.С. [11, 13], Кривик О.О. [8], Кійко І.О. [20, 21], Кушпін А.С. [23] та інші. Більшість їхніх праць базувались на експериментальних дослідженнях. Зі сказаного випливає, що дослідження, спрямовані на підвищення формостійкості клеєних конструкцій і виробів з деревини на основі моделювання їх деформацій при всиханні і розбуханні, з урахуванням анізотропії деревини становлять великий практичний інтерес і належать до пріоритетного напрямку науково-технічної діяльності в Україні.

Мета – розробити модель для прогнозування фізико-механічних властивостей букової деревини на основі методу кінцевих елементів меблевих щитів на основі циліндричної системи координат анізотропії постійних пружності.

Об'єкт дослідження – меблевий щит з масивної деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.).

Предмет дослідження – виконати аналітичний опис деформацій меблевого щита в матричному вигляді для встановлення відхилення від площинності під час розбухання та всихання.

Розроблення конструкцій меблевого щита із деревини бука звичайного на основі визначальних вхідних компонентів. В основу теоретичних досліджень з матеріального використання бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) лягли розробки, які присвячені виготовленню якісних меблевих щитів (МЩ) з прогнозованими властивостями різних конструкцій.

Розроблення конструкцій меблевих щитів безумовно залежить від характеристик вхідних елементів. Визначальними вхідними компонентами (геометричними та фізичними характеристиками), що будуть впливати на фізико-механічні властивості МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) є:

K_p – **коефіцієнт рейки – відношення ширини до товщини** (код: 1 – 1:1; 2 – 1,5:1; 3 – 2,5:1; 4 – 3,5:1) $K_p = a/h$, що впливає на показник формостійкості МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) (рис. 1);

K_n – **коефіцієнт за кутом нахилу річних кілець** до пласті щита (код: 1 – 61-90°; 2 – 31-60°; 3 – 1-30°) $K_p = 90/\alpha$, що, в першу чергу, впливає на показник формостійкості МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) (рис. 2);

K_y – **коефіцієнт укладання** рейок у щити (код: 1 – 90:270:90:270:90; 2 – 90:135:90:45:90; 3 – 90:0:90:180:90; 4 – 45:135:45:135:45; 5 – 0:180:0:180:0), що характеризує стабільність форми конструкції МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) .

K_z – **коефіцієнт зрощування** бездефектних відрізків у ламелі (код: 1 – рейки монолітні ; 2 – дві рейки з одним зрощенням ; 3 – три рейки з двома зрощеннями; 4 – чотири рейки з трьома зрощеннями; 5 – п'ять рейок з чотирма зрощеннями), що характеризує стабільність форми рейок в конструкції МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) .

Співвідношення ширини до товщини рейок

$K_{p1} - 1:1$ $K_{p2} - 1,5:1$ $K_{p3} - 2,5:1$ $K_{p4} - 3,5:1$

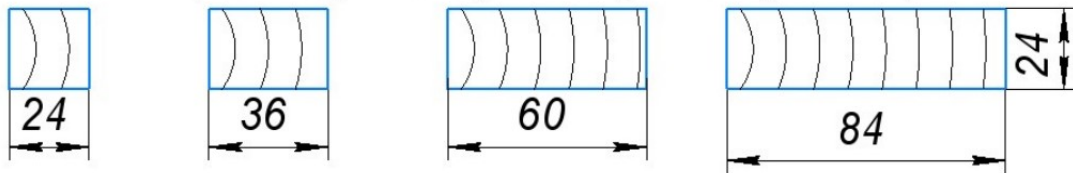


Рис. 1. Уніфіковані співвідношення ширини до товщини рейок в конструкціях меблевого щита із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.)

Кут нахилу річних кілець до пластів щита

$K_{н1}: 61-90$ $K_{н2}: 31-60$ $K_{н3}: 0-30$

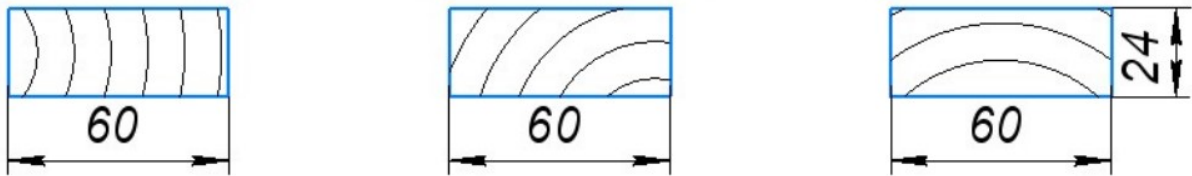


Рис. 2. Види поперечних перерізів рейок за кутами нахилу річних кілець до пластів (радіальний – $61-90^\circ$; напіврадіальний – $31-60^\circ$; тангентальний – $1-30^\circ$)

Для зручності розроблення математичних моделей та ведення розрахунків кожний із показників отримав кодування:

K_p – коефіцієнт рейки – відношення ширини до товщини (код: 1 – $1:1$; 2 – $1,5:1$; 3 – $2,5:1$; 4 – $3,5:1$): K_{p1} ; K_{p2} ; K_{p3} ; K_{p4} ;

K_n – коефіцієнт за кутом нахилу річних кілець до пластів щита (код: 1 – $61-90^\circ$; 2 – $31-60^\circ$; 3 – $1-30^\circ$): $K_{н1}$; $K_{н2}$; $K_{н3}$;

K_y – коефіцієнт укладання рейок у щити (код: 1 – $90:270:90:270:90$; 2 – $90:135:90:45:90$; 3 – $90:0:90:180:90$; 4 – $45:135:45:135:45$; 5 – $0:180:0:180:0$) : , що характеризує стабільність форми конструкції МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) : K_{y1} ; K_{y2} ; K_{y3} ; K_{y4} ; K_{y5} ;

K_z – коефіцієнт зрощування бездефектних відрізків у ламелі (код: 1 – рейки монолітні ; 2 – дві рейки з одним зрощенням ; 3 – три рейки з двома зрощеннями; 4 – чотири рейки з трьома зрощеннями; 5 – п'ять рейок з чотирма зрощеннями), що характеризує стабільність форми рейок в конструкції МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) : K_{z1} ; K_{z2} ; K_{z3} ; K_{z4} ; K_{z5} ;

Для детального дослідження впливу вхідних компонентів на формостійкість МЩ нами було розроблено різні конструкції МЩ . У конструкціях звичайних МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) передбачено використання рейок однієї породи деревини з почерговим укладанням згідно умов дослідження. МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) виготовлялись різних конструкцій

Всі МЩ виготовлялись товщиною 24 мм. Ширина рейок становила 24, 36, 60 та 84 мм. Розміри МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) для досліджень складали $1000 \times 500 \times 24$ мм. Та їх половини після поперечного розкрою $500 \times 500 \times 24$ мм.

Конструкції МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) за способом укладання рейок подано на рис. 3. А різновиди зрощених рейок для дослідження наведені на рис. 4.

Способи укладання ламелей в конструкціях МЩ

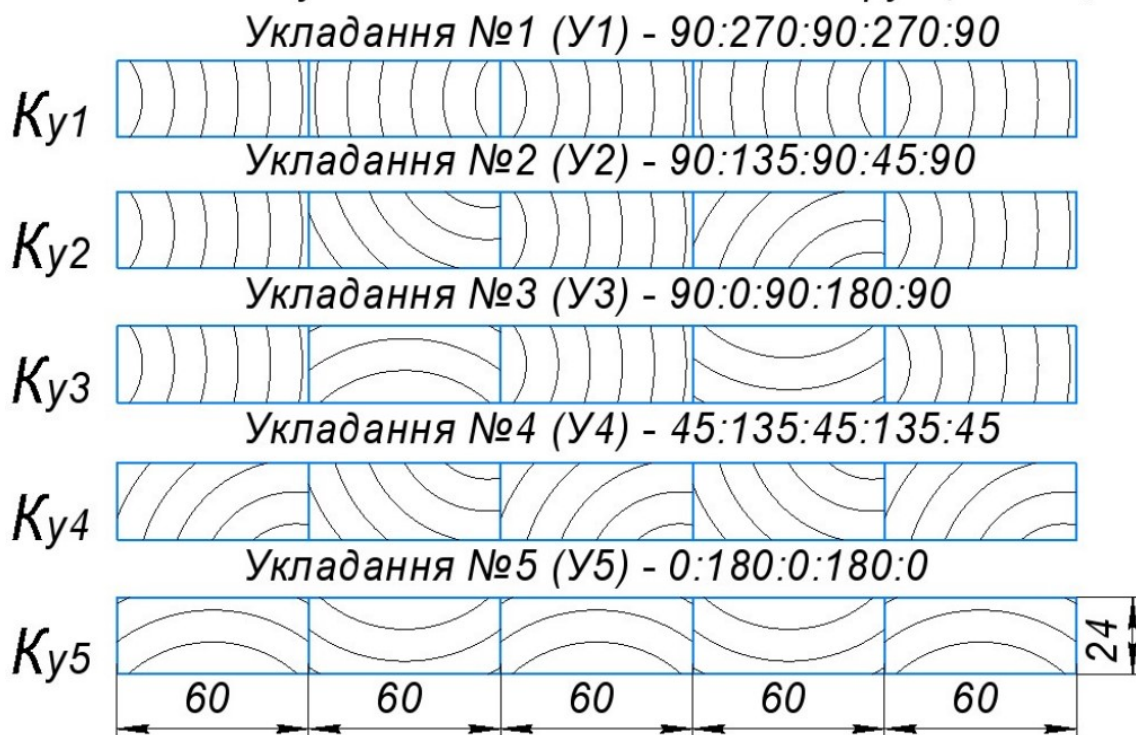


Рис. 3. Конструкції МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) за способом укладання рейок

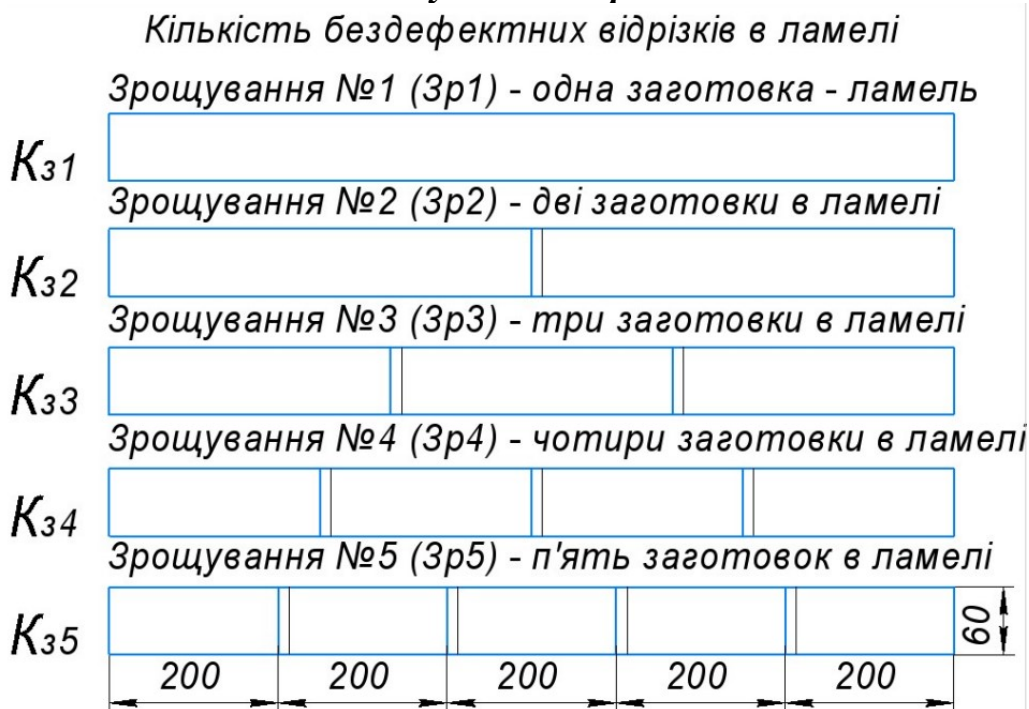


Рис. 4. Різновиди ламелей із бездефектних відрізків деревини в конструкціях МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.)

Моделювання характеристик складових елементів в конструкції меблевого щита з використанням методу скінченних елементів. Сьогодні активно

використовуються численні методи для оцінки міцності виробів. Завдяки розвитку інформаційних технологій в науково-дослідницькій сфері широкої популярності набуло моделювання процесів виробництва. Появилась можливість прогнозування напружено-деформованого стану конструкцій за допомогою методу скінченних елементів (МСЕ). Все це дає можливість розроблення і впровадження нових та ефективних методик розрахунку і оптимізації об'єктів дослідження, зокрема МЩ із деревини бука звичайного [1, 2, 11, 12].

Дослідження формостійкості МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) на основі моделювання їх деформацій залежно від використання бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) (внутрішнього вологістю $W=8\pm 2\%$ або зовнішнього, вологістю $W=12\pm 2\%$, оскільки цей параметр є суттєвим) та з врахуванням анізотропії деревини, викликає великий практичний інтерес і зумовлює розроблення математичної моделі.

Методика прогнозування властивостей МЩ, який складається з клеєних рейок із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.), базується на моделюванні напружено-деформованого стану виробу, який виникає при набуханні деревини при збільшенні вологості та температури. Комп'ютерні системи кінцево-елементного аналізу дозволяють врахувати анізотропію фізико-механічних властивостей деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.), а також його характеристики під час агресивних умов експлуатації. Сьогодні серед наявних програмних продуктів активно використовується SolidWorks, в якому чисельний аналіз реалізується за допомогою методу скінченних елементів.

Для виробів з деревини, в залежності від форми, розмірів та орієнтації в перерізі, можна використовувати такі види розрахункових схем анізотропії: ортогональну, циліндричну або трансверсальну. Оскільки деревина розглядається як тіло з цілком вираженою циліндричною анізотропією фізико-механічних властивостей, то структурні особливості деревини визначають явно виражені відмінності пружних властивостей за різними напрямками. Використання схеми циліндричної анізотропії під час вирішення задач механіки твердого деформованого тіла для розрахунку МЩ актуально з практичної точки зору, коли не можна знехтувати кривизною річних шарів, тобто при аналізі формостійкості МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) при розбуханні і усушці. Використовуючи закон Гука [1, 12, 13], пружну анізотропію деревини [2-5] можна описати за допомогою теорії пружності анізотропного тіла [13].

Деревина має лінійну залежність між деформаціями ϵ та напруженнями σ , зокрема при короткотермінових навантаженнях, що описується законом Гука:

- У звичайній формі для пружних тіл : $\epsilon = \frac{1}{E} \cdot \sigma$; (1)

- У матричній формі для анізотропних тіл : $\{\epsilon\} = [B]\{\sigma\}$. (2)

У МЩ, який містить рейки з із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) з вираженою анізотропією, матриця податливості $[B_{\text{МЩ}}]$, яка зв'язує шість компонент напруження з компонентами деформації, містить не більше 21 незалежну змінну [118], але при цьому необхідно враховувати спосіб укладання, тобто при розрахунку або визначенні незалежних змінних необхідно корегувати їх значення на коефіцієнт укладання K_u . Також, під час використання бездефектних відрізків необхідно враховувати кількість зон зрощування тобто при розрахунку або визна-

ченні незалежних змінних необхідно корегувати їх значення на коефіцієнт зрощування K_3 , оскільки клеєні конструкції суттєво впливають на стабільність форми,

У загальному випадку рейки із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) монолітні або зрощені, які формують МЩ, можуть мати початкові деформації, які зумовлені вологістю або мати набуті деформації від експлуатації в агресивних умовах. Якщо позначити ці деформації через $\{\varepsilon_0\}$, то напруження будуть визначатися різницею між діючими та початковими деформаціями.

Крім того, рейки із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) у МЩ можуть мати початкові напруження $\{\sigma_0\}$, які пов'язані із обробленням та використанням. Таким чином, в припущенні пружної поведінки рейок із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) у МЩ співвідношення між напруженнями і деформаціями будуть лінійними:

А) для меблевого щита

$$\{\sigma_{\text{МЩ}}\} = K_y [B_{\text{МЩ}}](\{\varepsilon\} - \{\varepsilon_0\}) + \{\sigma_0\} \approx K_y \cdot [B_{\text{МЩ}}] \cdot \{\varepsilon\} + \{\sigma_0\}.. \quad (3)$$

або

$$\{\varepsilon_{\text{МЩ}}\} = K_y [B_{\text{МЩ}}](\{\sigma\} - \{\sigma_0\}) + \{\varepsilon_0\} \approx K_y \cdot [B_{\text{МЩ}}] \cdot \{\sigma\} + \{\varepsilon_0\},$$

Б) для ламелей – зрощених заготовок

$$\{\sigma_3\} = K_3 [B_3](\{\varepsilon\} - \{\varepsilon_0\}) + \{\sigma_0\} \approx K_3 \cdot [B_3] \cdot \{\varepsilon\} + \{\sigma_0\}.. \quad (4)$$

або

$$\{\varepsilon_3\} = K_3 [B_3](\{\sigma\} - \{\sigma_0\}) + \{\varepsilon_0\} \approx K_3 \cdot [B_3] \cdot \{\sigma\} + \{\varepsilon_0\},$$

де: $[B_{\text{МЩ}}]$ – матриця податливості (пружності), яка містить характеристики рейок МЩ відповідного укладання;

де: $[B_3]$ – матриця податливості (пружності), яка містить характеристики зрощених рейок МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.); ε , $\{\varepsilon\}$ – деформація – зміна розмірів під час навантаження та вектор деформацій;

σ , $\{\sigma\}$ – напруження та вектор напружень рейок;

σ_0 , ε_0 – початкові напруження або деформації;

$\{\sigma_0\}$, $\{\varepsilon_0\}$ – вектори початкових напружень та деформацій;

K_y – коефіцієнт укладання рейок у щити, що характеризує стабільність форми конструкції МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.);

K_3 – коефіцієнт зрощування бездефектних відрізків у ламелі, що характеризує стабільність форми рейок в конструкції МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.).

Загальний вигляд матриці $[B]$ для анізотропних матеріалів з використанням звичайних пружних постійних: модуля пружності E та коефіцієнта Пуансона ν має вигляд [11]:

$$[B] = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)} \times \begin{bmatrix} 1 & \frac{\nu}{1-\nu} & \frac{\nu}{1-\nu} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\nu}{1-\nu} & 1 & \frac{\nu}{1-\nu} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\nu}{1-\nu} & \frac{\nu}{1-\nu} & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2(1-\nu)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2(1-\nu)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2(1-\nu)} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Матриця податливості $[B_{\text{МЩ}}]$ для ламелей, яка має три площини пружної симетрії, розміром 6 x 6, має вигляд:

$$[B_{\text{МЩ}}] = K_y \begin{bmatrix} \frac{1}{E_r} & \frac{-\mu_{tr}}{E_r} & \frac{-\mu_{ar}}{E_r} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{-\mu_{rt}}{E_t} & \frac{1}{E_t} & \frac{-\mu_{at}}{E_t} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{-\mu_{ra}}{E_a} & \frac{-\mu_{ta}}{E_a} & \frac{1}{E_a} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{rt}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{ta}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{ra}} \end{bmatrix} \quad (6)$$

де: E – модуль пружності за короткотривалої дії навантаження меблевого щита або зрощених брусків (ламелі); μ – коефіцієнт поперечної деформації; G – модуль зсуву; K_y – коефіцієнт укладання рейок у щити, що характеризує стабільність форми конструкції МЩ; K_z – коефіцієнт зрощування бездефектних відрізків у ламелі, що характеризує стабільність форми рейок в конструкції МЩ.

Матриця податливості $[B_3]$ для зрощених рейок, яка має три площини пружної симетрії, розміром 6 x 6, має вигляд:

$$[B_3] = K_z \begin{bmatrix} \frac{1}{E_r} & \frac{-\mu_{tr}}{E_r} & \frac{-\mu_{ar}}{E_r} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{-\mu_{rt}}{E_t} & \frac{1}{E_t} & \frac{-\mu_{at}}{E_t} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{-\mu_{ra}}{E_a} & \frac{-\mu_{ta}}{E_a} & \frac{1}{E_a} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{rt}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{ta}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{ra}} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Для позначення поперечної деформації μ і при різних напрямках стиску відносно річних шарів і волокон біля μ ставлять два індекси, з яких перший означає напрямок поперечної деформації, а другий – напрямок стиску, який викликав поперечну деформацію. Напрямок вздовж волокон позначають індексом a , впоперек волокон в радіальному напрямку – індексом r і в тангентальному напрямку – індексом t .

Для коефіцієнтів поперечної деформації існують такі позначення:

μ_{ra} ; μ_{ta} – коефіцієнти поперечної деформації в радіальному і тангентальному напрямках при стиску вздовж волокон;

μ_{ar} ; μ_{tr} – коефіцієнти поперечної деформації вздовж волокон і в тангентальному напрямку при стисненні в радіальному напрямку;

μ_{at} ; μ_{rt} – коефіцієнти поперечної деформації вздовж волокон і в радіальному напрямку при стисненні в тангентальному напрямку.

Для модулів зсуву G встановлюють такі позначення:

G_{ra} – модуль зсуву в площині радіального розрізу при стисненні під кутом 45° до цієї площини і напрямку волокон;

G_{ta} – модуль зсуву в площині тангентального розрізу при стисненні під кутом 45° до цієї площини і напрямку волокон;

G_{rt} – модуль зсуву в радіальній або тангентальній площині при стисненні під кутом 45° до цих площин.

Для ортотропних рейок для МЩ (з малим поперечним перерізом або об'ємом деревини) з 12 пружних постійних, які входять у матрицю податливості [B], тільки 9 є незалежними, оскільки, виходячи із припущення про існування пружного потенціалу, завжди витримуються наступні умови [5, 12]:

$$\frac{\mu_{ra}}{E_a} = \frac{\mu_{ar}}{E_r}; \quad \frac{\mu_{ta}}{E_a} = \frac{\mu_{at}}{E_t}; \quad \frac{\mu_{rt}}{E_t} = \frac{\mu_{tr}}{E_r}. \quad (8)$$

Крім того, для наших досліджень, виходячи із припущень, можемо розглядати дві гіпотези, які ми висуваємо щодо теоретичних досліджень:

- Кількість зрощувань в ламелі зменшує напруженість та деформативність;
- У зрощеній ламелі поперечну анізотропію необхідно розглядати у циліндричній системі координат, оскільки ділянки зрощуються між собою з різними кутами нахилу, тоді для ламелі буде виконуватись наближено умова щодо модулів пружності $E_r = E_t$.

Звідси, Матриця податливості при цьому набуває симетричного вигляду, а попарно рівні величини, що записані в співвідношеннях матриці, усереднюються, а сама матриця набуває симетричного вигляду (рис. 5).

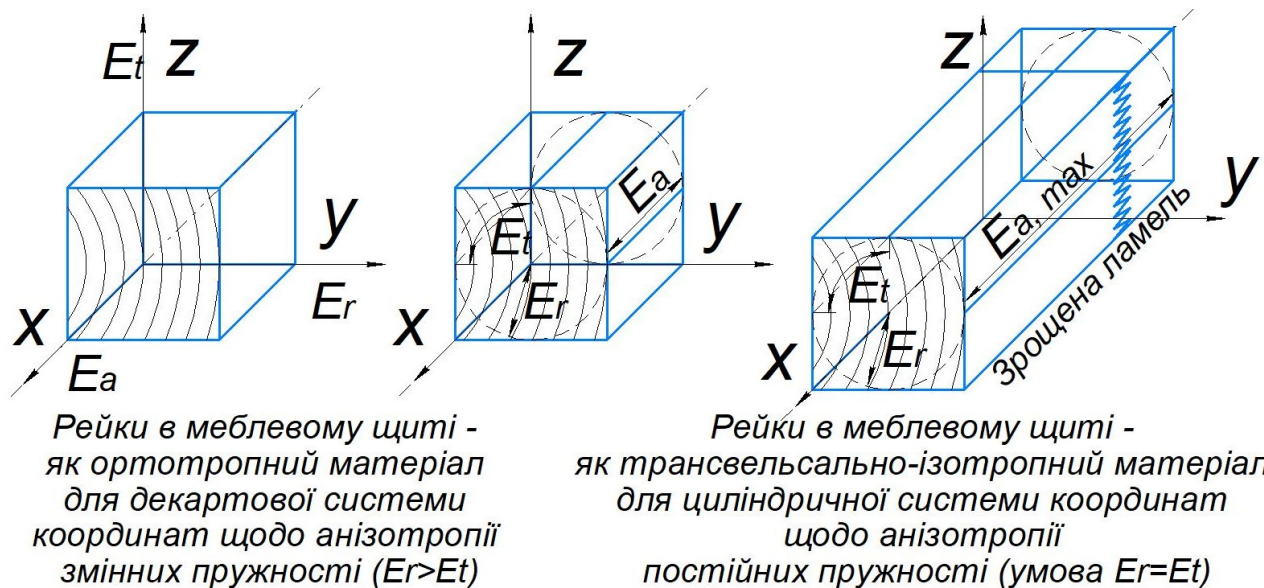


Рис. 5. Особливості анізотропії рейок з деревини бука в конструкціях меблевого щита

Для трансверсально-ізотропних рейок для МЩ (з великим поперечним перерізом або об'ємом деревини) з 12 пружних постійних, які входять у матрицю податливості [B], тільки 5 є незалежними, оскільки завжди виконуються ще чотири наступні умови:

$$-\frac{\mu_{ra}}{E_a} = -\frac{\mu_{ar}}{E_r} = -\frac{\mu_{ta}}{E_a} = -\frac{\mu_{at}}{E_t}; \quad \frac{1}{E_t} = \frac{1}{E_r}; \quad \frac{1}{G_{ta}} = \frac{1}{G_{ar}}; \quad G_{rt} = \frac{E_r}{2(1 + \mu_{rt})}. \quad (9)$$

Тоді, матриця податливості $[B_{\text{МЩ}}]$, розміром 4 x 4, набуде вигляду:

$$[B_{\text{МЩ}}] = K_y \begin{bmatrix} \frac{1}{E_r} & \frac{-\mu_{ar}}{E_r} & 0 & 0 \\ \frac{-\mu_{ra}}{E_a} & \frac{1}{E_a} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{G_{rt}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{ra}} \end{bmatrix} \quad (10)$$

А матриця податливості $[B_3]$, розміром 4 x 4, набуде вигляду:

$$[B_3] = K_3 \begin{bmatrix} \frac{1}{E_r} & \frac{-\mu_{ar}}{E_r} & 0 & 0 \\ \frac{-\mu_{ra}}{E_a} & \frac{1}{E_a} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{G_{rt}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{ra}} \end{bmatrix} \quad (11)$$

Наведені схеми ортогональної та випадок трансверсальної анізотропії механічних властивостей монолітних або зрощених рейок із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) можуть бути реалізовані в CAD/CAE-системах. Під час розрахунку властивостей МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) необхідно вибрати тримірний ортотропний елемент (рейку) та вказати механічні властивості її в трьох напрямках.

Якщо за фізико-механічними характеристиками рейок із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) будуть витримані умови трансверсально-ізотропного матеріалу, матимемо справу з 5-ма незалежними змінними, і достатньо знати механічні властивості у двох напрямках: повздовжньому та поперечному.

Початкові деформації $\varepsilon_{0\text{зр}}$ або напруження $\sigma_{0\text{зр}}$ в МЩ зрощених рейок із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.), які пов'язані із вологістю та температурою, в матричній формі можна записати у такому вигляді:

А) для меблевого щита

$$\{ \varepsilon_{0\text{МЩ}(i)} \} = K_{y(i)} (W - W_0) [K_t; K_r; K_l; 0; 0; 0] \\ \text{або } \{ \sigma_{0\text{МЩ}(i)} \} = K_{y(i)} (W - W_0) [K_t; K_r; K_l; 0; 0; 0], \quad (12)$$

Б) для ламелей – зрощених заготовок

$$\{ \varepsilon_{0\text{зр}(i)} \} = K_{3(i)} (W - W_0) [K_t; K_r; K_l; 0; 0; 0] \\ \text{або } \{ \sigma_{0\text{зр}(i)} \} = K_{3(i)} (W - W_0) [K_t; K_r; K_l; 0; 0; 0], \quad (13)$$

де : W , W_0 – кінцева та початкова вологість рейок із деревини бука; K_r , K_t , K_l – коефіцієнти розбухання в радіальному, тангентальному і поздовжньому напрямку відповідно; K_y – коефіцієнт укладання рейок у щити, що характеризує стабільність форми конструкції МЩ; K_3 – коефіцієнт зрощування бездефектних відрізків у ламелі, що характеризує стабільність форми рейок в конструкції МЩ.

Тоді, **модель деформативності зрощених ламелей** при скінченно-елементному аналізі анізотропії постійних пружності набере такого вигляду:

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_{r1} \\ \varepsilon_{t1} \\ \varepsilon_{l1} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} = \underset{\text{K3(i)}}{\mathbf{K}} \times \begin{bmatrix} \frac{1}{E_r} & \frac{-\mu_r}{E_r} & \frac{-\mu_{ar}}{E_r} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{-\mu_{rt}}{E_t} & \frac{1}{E_t} & \frac{-\mu_{at}}{E_t} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{-\mu_{ra}}{E_a} & \frac{-\mu_{ra}}{E_a} & \frac{1}{E_a} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{rt}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{ra}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{ra}} \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} \sigma_r \\ \sigma_t \\ \sigma_l \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} K_r \\ K_t \\ K_i \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} S_r \\ S_t \\ S_l \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (14)$$

Таким чином, розроблено модель для прогнозування фізичних властивостей, зокрема формостійкості букової деревини на основі методу скінченних елементів МЩ анізотропії постійних пружності. Створення такої математичної моделі на основі систем скінченно-елементного аналізу дає змогу досліджувати, зокрема меблеві щити без їх виготовлення, що також дозволяє в кілька разів скоротити період технологічної підготовки виробництва, матеріальні витрати і, за певними критеріями, оптимізувати конструкцію за умовами деформативності.

Обґрунтування достовірності теоретичних розрахунків за розробленим аналітичним апаратом деформацій меблевих щитів з використанням методу скінченних елементів з результатами експериментальних досліджень.

Методика моделювання фізико-механічних властивостей монолітних або зрощених рейок із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) методом скінченних елементів при розробленні конструкцій меблевих щитів та виконання порівняльного аналізу між теоретичними та експериментальними дослідженнями охоплювали:

- визначення характеристик деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) модуль пружності за короткотривалої дії навантаження та модуль зсуву в трьох напрямках, коефіцієнти поперечної анізотропії;
- визначення матриць податливості (пружності) монолітних або зрощених рейок та МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) ;
- виготовлення МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) деревини бука з поперечним перерізом рейок 24 × 24 мм з хаотичним розташуванням нахилу річних кілець до пластів щита в суміжних рейках;
- для порівняльного аналізу та розроблення рекомендацій щодо правильного укладання рейок в конструкцію МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) здійснювали збільшення вологості від початкової 8 % до межі насичення стінок клітин, тобто до 30 %. Збільшення вологості МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) склало 22 %.
- для визначення деформатичності МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) визначали стрілу прогину для всіх конструкцій меблевих щитів, в яких рейки були різного зрощування;
- моделювання вологісних деформацій МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) як ортотропного матеріалу здійснювали у програмному комплексі SolidWorks з використанням систем кінцево-елементного аналізу – методу скінченних елементів.
- за результатами порівняльного аналізу впливу розбухання на деформації та формостійкість приймали рішення та розробляли рекомендації щодо орієнтації

кутів нахилу річних шарів до пластів щита, геометричних розмірів поперечного перерізу, їх компонування в суміжних шарах МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.)

За результатами експериментальних досліджень одержано всі необхідні величини характеристик монолітних або зрощених рейок та МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) для відповідного укладання в розроблених конструкціях для розрахунку матриці податливості (пружності): модуль пружності за короткотривалої дії навантаження та модуль зсуву у трьох напрямках, коефіцієнти поперечної анізотропії (табл. 1).

Таблиця 1

Основні деформативні (механічні) властивості зрощених рейок, МПа

К-сть від- різків	Модуль пружності			Коефіцієнти поперечної деформації						Модуль зсуву		
	E_a	E_r	E_t	μ_{ra}	μ_{ta}	μ_{ar}	μ_{tr}	μ_{at}	μ_{rt}	G_{ra}	G_{ta}	G_{rt}
1	15319	994	627	0,412	0,350	0,025	0,739	0,023	0,362	1646	1081	508
2	15090	968	618	0,406	0,344	0,026	0,712	0,021	0,356	1625	1072	489
3	14941	947	611	0,403	0,339	0,026	0,694	0,020	0,352	1596	1047	470
4	14795	932	606	0,400	0,335	0,027	0,678	0,019	0,350	1568	1011	459
5	14687	918	601	0,397	0,332	0,027	0,671	0,018	0,348	1532	985	436

Для дослідження деформативності МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) було попередньо підібрано із довідкової літератури та визначено необхідні коефіцієнти розбухання рейок із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) за трьома напрямками при зміні вологості від 8 до 30 % (табл. 2).

Для дослідження деформативності МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) було попередньо визначено коефіцієнти розбухання рейок із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) за трьома напрямками при зміні вологості від 8 до 30 % (табл. 2).

Таблиця 2.

Коефіцієнти розбухання рейок із деревини бука звичайного

К-сть відрізків	Вологість, %			Коефіцієнти розбухання		
	W	W_0	ΔW	K_r	K_t	K_l
1	30	8	22	0,175	0,358	0,022
2	30	8	22	0,151	0,302	0,018
3	30	8	22	0,135	0,250	0,013
4	30	8	22	0,122	0,195	0,011
5	30	8	22	0,108	0,163	0,007

Використовуючи дані табл. 2 та формулу 11, початкові деформації $\varepsilon_{0зр}$ в МЩ зрощених рейок із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.), які пов'язані із вологістю та температурою, в матричній формі можна записати у такому вигляді:

$$\begin{aligned}
 \{ \varepsilon_{0зр(1)} \} &= K_{з(1)} (30-8) [0,175 ; 0,358 ; 0,022 ; 0 ; 0 ; 0] \\
 \{ \varepsilon_{0зр(2)} \} &= K_{з(2)} (30-8) [0,151 ; 0,302 ; 0,018 ; 0 ; 0 ; 0] \\
 \{ \varepsilon_{0зр(3)} \} &= K_{з(3)} (30-8) [0,135 ; 0,250 ; 0,013 ; 0 ; 0 ; 0] \\
 \{ \varepsilon_{0зр(4)} \} &= K_{з(4)} (30-8) [0,122 ; 0,195 ; 0,011 ; 0 ; 0 ; 0] \\
 \{ \varepsilon_{0зр(5)} \} &= K_{з(5)} (30-8) [0,108 ; 0,163 ; 0,007 ; 0 ; 0 ; 0]
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

За результатами математичних розрахунків одержано всі коефіцієнти матриці податливості (пружності) для монолітних або зрощених рейок, які необхідні для розрахунку деформативності МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) при дослідженні конструкції МЩ залежно від компонування річних шарів у суміжних рейках (табл. 3).

Таблиця 3.

Коефіцієнти матриці на основі властивостей, 10^{-10}

К-сть відрізків в рейці	Коефіцієнти матриці податливості											
	$1/E_r$	μ_{tr}/E_r	μ_{ar}/E_r	μ_{rt}/E_t	$1/E_t$	μ_{at}/E_t	μ_{ra}/E_a	μ_{ta}/E_a	$1/E_a$	$1/G_{ra}$	$1/G_{ta}$	$1/G_{rt}$
1	10,06	7,44	0,26	5,77	15,95	0,37	0,27	0,23	0,65	19,67	9,25	6,08
2	10,33	7,35	0,27	5,76	16,18	0,34	0,27	0,23	0,66	20,45	9,33	6,15
3	10,56	7,33	0,28	5,76	16,36	0,33	0,27	0,23	0,67	21,28	9,55	6,27
4	10,73	7,28	0,29	5,77	16,51	0,31	0,27	0,23	0,68	21,78	9,89	6,38
5	10,89	7,31	0,29	5,79	16,64	0,31	0,27	0,23	0,68	22,96	10,15	6,53

Для ортотропних монолітних рейок із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) (K_{31}) для МЩ з 12 пружних постійних (9 незалежних), матриця податливості $[B_{31}]$ буде мати вигляд:

$$[B_{31}] = K_{31} \begin{bmatrix} 10,06 & -7,44 & -0,26 & 0 & 0 & 0 \\ -5,77 & 15,95 & -0,37 & 0 & 0 & 0 \\ -0,27 & -0,23 & 0,65 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 19,67 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 9,25 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6,08 \end{bmatrix}. \quad (16)$$

Усереднена та симетрична для рейок із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) (K_3) для МЩ з 12 пружних постійних (9 незалежних), матриця податливості $[B_3]$, яка прийнята для наступних розрахунків, буде мати вигляд:

$$[B_{31}] = K_{31} \begin{bmatrix} 10,06 & -6,605 & -0,265 & 0 & 0 & 0 \\ -6,605 & 15,95 & -0,30 & 0 & 0 & 0 \\ -0,265 & -0,30 & 0,65 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 19,67 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 9,25 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6,08 \end{bmatrix}. \quad (17)$$

За допомогою експериментальних досліджень були визначені значення коефіцієнтів K_3 , що враховують та описують характеристики рейок залежно від кількості зубчастих з'єднань в ламелі. Приймаємо для монолітних рейок значення $K_{31}=1$, то наступні у порівнянні з K_{31} будуть такими $K_{32}=0,95$; $K_{33}=0,91$ $K_{34}=0,88$ $K_{35}=0,86$. Значення $\{\sigma\}$ визначаємо для K_{31} , яке становить $\sigma_a=104,4$ (61-90); $\sigma_a=99,83$ (31-60); $\sigma_a=96,92$ (1-30).

Тоді всі дані підставляємо у формулу 2.32 та знаходимо вектори деформацій за напрямками анізотропії для кожного типу щита

$$\{\epsilon_{3(i)}\} = K_{3(i)} [B_{3(i)}] (\{\sigma_a\} + \{\epsilon_{03(i)}\}), \quad (18)$$

Приклад внесення даних, тобто числові значення векторів деформацій за напрямками анізотропії для **першого типу ламелей з результатами**:

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_{r1} \\ \varepsilon_{t1} \\ \varepsilon_{l1} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} = 1 \times \begin{bmatrix} 10,06 & -7,44 & -0,26 & 0 & 0 & 0 \\ -5,77 & 15,95 & -0,37 & 0 & 0 & 0 \\ -0,27 & -0,23 & 0,65 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 19,67 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 9,25 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6,08 \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} 104,4 \\ 96,92 \\ 52,20 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 0,175 \\ 0,358 \\ 0,022 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0,200 \\ 0,453 \\ 0,023 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Результати порівняльних випробувань подані у табл. 4. і рис. 6.

Таблиця 4.

Значення максимальних прогинів ламелей із деревини бука звичайного

	Прогин S, мм (Експер)				Прогин S, мм (Модель)		
	Ка30	Ка60	Ка90		Ка30	Ка60	Ка90
ε_{31}	0,427	0,201	0,116		0,453	0,248	0,200
ε_{32}	0,416	0,198	0,115		0,396	0,218	0,178
ε_{33}	0,408	0,196	0,114		0,343	0,192	0,163
ε_{34}	0,402	0,193	0,113		0,287	0,166	0,151
ε_{35}	0,399	0,192	0,113		0,254	0,149	0,137

Відхилення між експериментом та моделюванням становили : для 30° – 5-50 %, для 60° – 2-30 %, для радіальних перерізів – до 8-40 %.

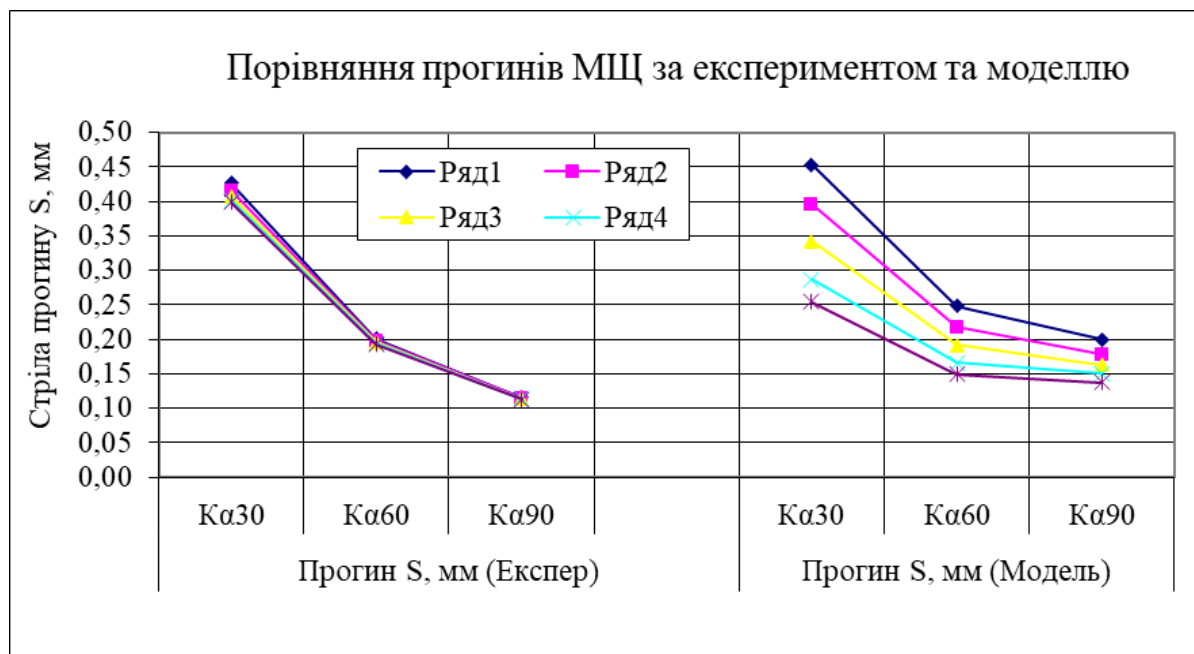


Рис. 6. Порівняння стріл прогинів ламелей із деревини бука звичайного

Дані порівняльного аналізу теоретичних даних з експериментом для зрощених рейок із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) стосовно прогину різних конструкцій меблевого щита подано у табл. 5 та представлено у вигляді номограми на рис. 7.

Таблиця 5. Порівняльний аналіз теоретичних даних з експериментом для зрощених рейок із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) на предмет прогину для вологості 8%

	Ка30		Ка60		Ка90	
	Експр.	Модель	Експр.	Модель	Експр.	Модель
ϵ_{31}	0,427	0,453	0,201	0,248	0,116	0,200
ϵ_{32}	0,416	0,396	0,198	0,218	0,115	0,178
ϵ_{33}	0,408	0,343	0,196	0,192	0,114	0,163
ϵ_{34}	0,402	0,287	0,193	0,166	0,113	0,151
ϵ_{35}	0,399	0,254	0,192	0,149	0,113	0,137

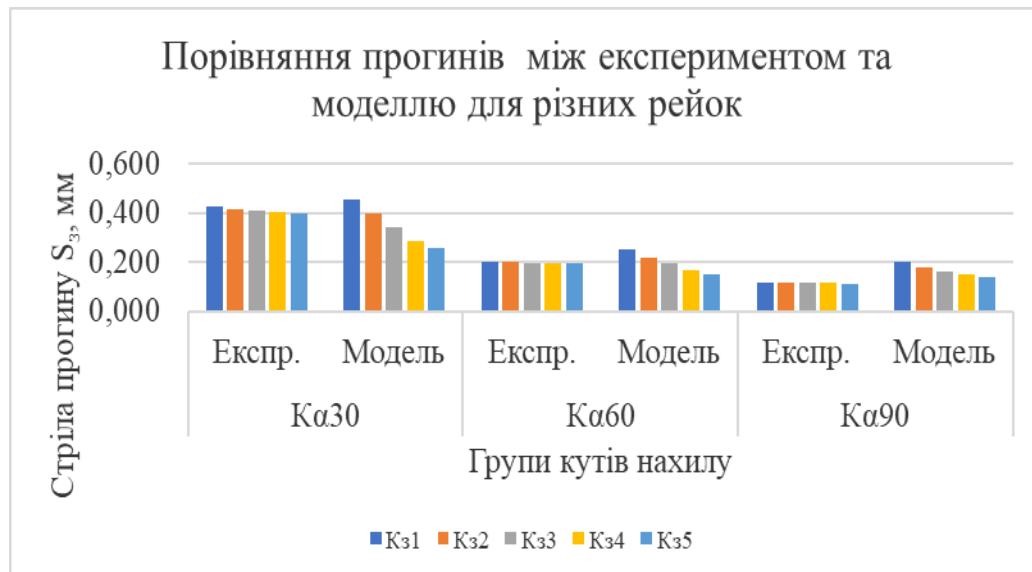


Рис. 8. Динаміка порівняльних прогинів теоретичних та експериментальних даних, отриманих для різних ламелей

Загальна динаміка прогинів за теоретичною моделлю для зрощених ламелей, для яких наближено виконується умова щодо модулів пружності $E_r = E_t$, демонструє зменшення напруженості та деформативності, що підтверджує нашу гіпотезу, що при збільшенні кількості зрощувань величина стріли прогину зменшується (рис. 9).

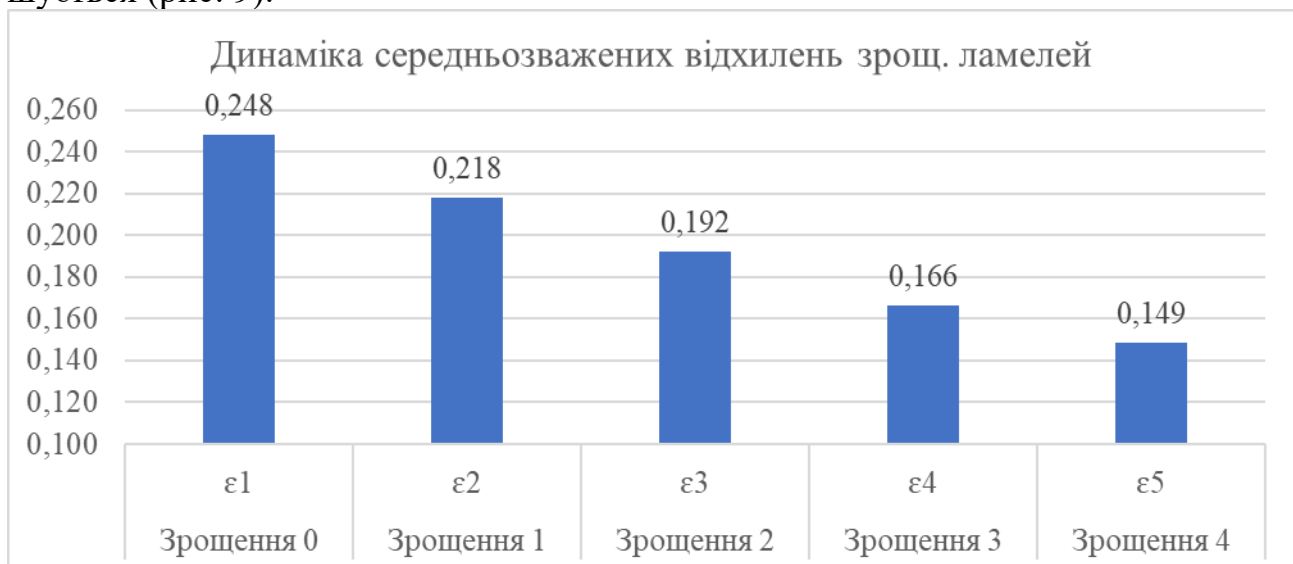


Рис. 9. Динаміка величини стріли прогину для різної кількості зрощень

Тобто, маючи необхідну базу даних про вхідні компоненти виробу, можливо, за допомогою метода скінченних елементів, розрахувати напружено-деформаційний стан, зокрема МЩ із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.). Особливо це актуально для забезпечення формостійкості (зменшення жолоблення та зниження концентрації напружень) при перепадах вологості та температури, що можна досягти при правильному укладанні рейок з максимальним використанням радіальних заготовок. Обґрунтування нових конструкцій МЩ, яке базується на використанні систем кінцево-елементного аналізу з використанням запропонованої моделі, дає змогу виявити недоліки даних виробів на концептуальній стадії проекту і виправити їх до початку виготовлення з урахуванням заданих технічних умов. Таким чином, запропоновано підхід прогнозування властивостей меблевих щитів із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) на основі методу скінченних елементів. З'ясовано, що в конструкціях МЩ із деревини бука можна приписувати ортогональну, циліндричну або трансверсальну розрахункову схему анізотропії в залежності від розмірів МЩ та орієнтації волокон в рейках.

Запропоновано модель фізичних властивостей монолітних або зрощених рейок із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) при кінцево-елементному аналізі МЩ на основі циліндричної системи координат анізотропії постійних пружності. Встановлено, що практичне використання схеми циліндричної анізотропії під час вирішення задач механіки твердого деформованого тіла для розрахунку МЩ із деревини бука доцільно, коли не можливо знехтувати кривизною річних шарів, тобто при аналізі формостійкості МЩ та монолітних чи зрощених рейок з із деревини бука при розбуханні та усушці. Обґрунтовано прикладну методику розрахунку МЩ із деревини бука, що дає можливість врахувати особливості анізотропії фізичних характеристик рейок з урахуванням їх всихання і розбухання при зміні температурно-вологісних умов довкілля. Обґрунтування нових конструкцій МЩ із деревини бука, яке базується на використанні систем кінцево-елементного аналізу, дозволяє виявити недоліки даних виробів на концептуальній стадії проекту і виправити їх до початку виготовлення з урахуванням заданих технічних умов. Запропоновано оптимальну схему компонування річних шарів у суміжних рейках МЩ із деревини бука, яка забезпечує покращення формостійкості (зниження жолоблення) конструкції при одночасному зменшенні напружень, що виникають при збільшенні вологості виробу в процесі експлуатації. Запропоновано математичну модель, які описує формостійкість МЩ із деревини бука. Розроблена модель може бути застосована для дослідження і оптимізації МЩ нових конструкцій за умовами деформативності.

Висновки : Запропоновано підхід прогнозування властивостей меблевих щитів із деревини бука звичайного (*Fagus sylvatica* L.) на основі методу скінченних елементів. З'ясовано, що в конструкціях МЩ із деревини бука можна приписувати ортогональну, циліндричну або трансверсальну розрахункову схему анізотропії в залежності від розмірів МЩ та орієнтації волокон в рейках. Запропоновано модель фізико-механічних властивостей монолітних або зрощених рейок із деревини бука при кінцево-елементному аналізі МЩ на основі циліндричної системи координат анізотропії постійних пружності. Встановлено, що практичне використання схеми циліндричної анізотропії під час вирішення задач механіки твердого деформованого тіла для розрахунку МЩ із деревини бука доцільно, коли не можливо знехтувати кривизною річних шарів, тобто при аналізі формостійкості МЩ та монолітних чи зрощених рейок з із деревини бука при розбуханні та усушці. Розроблено прикладну методику розрахунку МЩ із деревини бука, що дає можливість врахувати особливості анізотропії фізико-механічних характеристик рейок з урахуванням їх усушки і розбухання при зміні температурно-вологісних умов довкілля. Обґрунтування нових конструкцій МЩ із деревини бука, яке базується на використанні систем кінцево-елементного аналізу, дозволяє виявити недоліки даних виробів на концептуальній стадії проекту і виправити їх до початку виготовлення з урахуванням заданих технічних умов. Запропоновано оптимальну схему компонування річних шарів у суміжних рейках МЩ із деревини бука, яка забезпечує покращення формостійкості (зниження жолоблення) конструкції при одночасному зменшенні напружень, що виникають при збільшенні вологості виробу в процесі експлуатації. Запропоновано математичні моделі, які прогнозують (описують) міцність та формостійкість МЩ із деревини бука звичайного. Розроблена модель може бути застосована для дослідження і оптимізації МЩ нових конструкцій за умовами міцності та деформативності.

References

1. **Boyko S.V., Yeroshenko A.M.** (2011): *Modelyuvannya fizyko-mekhanichnykh vlastyvostey modyfikovanoyi derevyny metodom skinchennykh elementiv* [Modeling of physical and mechanical properties of modified wood using the finite element method] / Technical sciences and technologies: Bulletin of ChDTU 2.4:184–188 (in Ukrainian).
2. **Dendyuk M.V., Pobereyko B.P., Sokolovskyy Y.I.** (2003): *Zastosuvannya metodu skinchennykh elementiv dlya rozrakhunku nestatsionarnykh poliv volohoperenesennya u vysushuvaniy derevyny* [Application of the finite element method for the calculation of non-stationary moisture transfer fields in drying wood] / Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 27:100-106. (in Ukrainian).
3. **Sokolovskyy Ya.I.** (1997): *Doslidzhennya ploskoho napruzhenno-deformivnoho stanu derevyny u protsesi sushynnya* [Study of the flat stress-strain state of wood in the drying process] / Scientific bulletin of the UNFU 8:161-168 (in Ukrainian).
4. **Pobereyko B.P.** (2011): *Teoretychni osnovy rozrakhunku mitsnosti derevyny zi zminnyimi potentsialamy teplomasoperenesennya* [Theoretical basis for calculating the strength of wood with variable potentials for heat and mass transfer]: thesis of the Doctor of Technical Sciences in the specialty: 05.23.06. - Lviv. - 320 (in Ukrainian).
5. **Volynsky V.N.** (2003): *Tekhnolohyya kleenykh materyalov* [Technology of glued materials]. – Arkhangelsk: AGTU. – 280 (in Russian).
6. **Podibka T.I.** (2018) : *Konstruktsiyi ta tekhnolohichni aspekty meblevykh shchytiv v normatyvnykh dokumentakh* [Constructions and technological aspects of furniture panels in regulatory documents] // Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 44: 83-90. doi: <https://doi.org/10.36930/42184411>
7. **Podibka T.I., Kiyko O.A.** (2019) : *Doslidzhennya vplyvu poperechnykh rozmiriv bukovykh reyok na formostykykist' meblevykh shchytiv* [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. doi: <https://doi.org/10.36930/42194521>
8. **Kryvyk, O.O., & Mayevskyy, V.O** (2011) *Dynamika zminy formostykykosti shchytiv kleyenykh z poyednannyam riznykh porid derevyny* [Dynamics of shape stability change for glued panels with a combination of different wood species]. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry, Lviv. Vol. 37(1):30-33 (in Ukrainian).
9. **Gayda S.V.** (2018). Strength of combined blockboard made of post-consumer wood (PCW). Bulletin of KhNTUA 197:3-9, (in Ukrainian).
10. **Kiyko, I.O** (2014) *Vplyv rozmiriv strukturnykh elementiv kleyenykh shchytiv na yikh formostykykist'*. [The impact of the structural element sizes on the furniture board form stability]. Collection Bulletin UNFU, Lviv. Vol. 24(5).169-175 (in Ukrainian).
11. **Pardaev, A.S** (2008). *Modelyuvannya fizyko-mekhanichnykh vlastyvostey derevyny pry zvychnayno-elementnomu analizi stolyarnykh vyrobiv* [Modeling of physical and mechanical properties of wood during conventional elemental analysis of carpentry]. Collection Bulletin USTU, Ekaterinburg. Vol. 3:77-83 (in Russian).
12. **Gayda S.V.** (2019): *Naukovo-tekhnichni osnovy vykorystannya vzhynanoyi derevyny v derevoobrobtsi* [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).
13. **Pardaev, A.S** (2009). *Otsinka yakysnykh pokaznykiv deformatyvnosti vyrobiv z derevyny na osnovi modelyuvannya navantazhen' i vplyviv* [Increased form stability glued board of wood based on process modeling shrinkage and swelling]. Architecture and Construction, Minsk. Vol. 3(202):41-44 (in Russian).
14. **Mayevskyy, V.O, & Benyah, Yu.V.** (2005). Investigations of stability of shape of Composite boards from oak solid. Collection Bulletin UNFU, Lviv. Vol. 15(5):199-208 (in Ukrainian).
15. **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).
16. **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. <https://doi.org/10.36930/42174301> (in Ukrainian).
17. **Gayda, S.V.** (2015). Investigation of physical and mechanical properties of post-consumer wood (PCW). Actual problems of forest complex 43:175-179 (in Russian).
18. **Gayda, S.V.** (2016). A investigation of form of stability of variously designed blockboards made of post-consumer wood. ProLigno 12(1):22-31.
19. **Gayda S.V.** (2018): *Doslidzhennya ta analiz kharakterystyk shchytovykh konstruktsiy iz vzhynanoyi derevyny* [A investigation and analysis of characteristics of solid furniture boards made of post-consumer wood]. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 44:14-24 (in Ukrainian).

20. **Gayda S.V., Kiyko O.A.** (2021): Властивості вживаної деревини як визначальний чинник якості меблевих виробів / *Vlastyvosti vzhynanoi derevyny yak vyznachal'nyy chynnyk yakosti meblevykh vyrobiv* [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). <https://doi.org/10.15421/412135>
21. **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>
22. **Kiyko I.O.** (2013) Possibilities of the woodworking industry's wastes using for manufacturing of the furniture boards with improved aesthetic properties . Technical University in Zvolen (Slovakia). Proceedings of the XXI symposium. Vydavatelstvo TU Zvolen, 107-112.
23. **Kushpit A.S., Denysyuk V.A., Kushpit O.M.** (2018) *Analiz vplyvu vydu z"yednan' za shyrynoyu na formostiyst' meblevykh shchytiv* [Analysis of the influence of the type of joints by width on the dimensional stability of furniture boards] / Comprehensive quality assurance of technological processes and systems: theses materials, add. VIII International science – practice conf. (Chernihiv, May 10-12, 2018) . – Chernihiv. Vol. 1:209-210. (in Ukrainian).
24. **Y. Sokolovskyy, M. Levkovich, O. Mokrytska, Y. Kaspryshyn and N. Yavorska.** (2020). "Investigation on the Processes of Deformation, Heat- and-Moisture Transfer in Media with the Properties of the Effects of "Memory" and Self-Similarity," 2020 IEEE Third International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP), Lviv, Ukraine, pp. 382-385, doi: <https://doi.org/10.1109/DSMP47368.2020.9204137> .
25. **Sofia Holovata, Yaroslav Sokolovskyy, Bohdan Pobereyko, Andriy Holovaty.** (2021). Mathematical Modeling of Boundary Stress State of Orthotropic Material. Materials Science and Engineering (MSE), Volume 1016, 012001, DOI <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1016/1/012001>.
26. **Kryshchapovych, V. I., Sokolovskyy, Ya. I.** (2017). The Rheological Model of Limited Creep of Wood. Scientific Bulletin of UNFU, 27(3), 182–186. Retrieved from: <http://nv.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/378>. DOI: <https://doi.org/10.15421/40270341> .
27. **Y. Sokolovskyy, A. Nechepurenko, O. Herasymchuk, O. Mokrytska and T. Samotii.** (2021). "Software and Algorithmic Aspects of Automating Finite-element Discretization," 2021 IEEE 16th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM), Lviv, Ukraine, pp. 28-33, doi: <https://doi.org/10.1109/CADSM52681.2021.9385238>.
28. **Y. Sokolovskyy, A. Nechepurenko, T. Samotii, S. Yatsyshyn, O. Mokrytska and V. Yarkun.** (2020). "Software and Algorithmic Support for Finite Element Analysis of Spatial Heat-and-Moisture Transfer in Anisotropic Capillary-Porous Materials," 2020 IEEE Third International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP), Lviv, Ukraine, pp. 316-320, doi: <https://doi.org/10.1109/DSMP47368.2020.9204175>.
29. **Gayda S.V.** (2011). Recycled of post-consumer wood is for the production of particleboard in Ukraine / Proceedings of the XXI International symposium Adhesives in Woodworking Industry (Slovakia, Zvolen Juve 29 – July 01. 2011). TU Zvolen. – P. 108-121.
30. **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 Juve 23-26. 2013). TU Zvolen, 119-130.
31. **Gayda S.V.** (2013). Розроблення технології виробництва паливних гранул на основі енергетичного потенціалу вживаної деревини (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).
32. **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 of forest complex* 38:212-216 (in Russian).
33. **Gayda S.V.** (2015). Modeling properties of blockboards made of post-consumer wood on the basis of the finite element method. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry, 41, 39-49. <https://doi.org/10.36930/42154106>
34. **Gayda S.V.** (2016). Research on physical and mechanical characteristics of front blockboards made from post-consumer wood (Дослідження фізико-механічних характеристик фасадних столярних плит із вживаної деревини). *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 42: 33-50.
35. **Gayda S.V., Bilyy Ya.M.** (2016). The investigation of the shape stability of glued panels made of post-consumer wood. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry, 42, 69-79. <https://doi.org/10.36930/42164211> (in Ukrainian).
36. **Gayda S.V.** (2016). Технологічні підходи до поверхневого очищення вживаної деревини голкофрезерним інструментом / *Tekhnologichni pidkhody do poverkhnevoho ochyshchennya vzhynanoi derevyny holkofrezernym instrumentom* (Technological approaches to cleaning of surface of post-consumer wood of needle-milling tools). Bulletin of KhNTUA 178:3-11(in Ukrainian).

37. **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. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.212484>.

38. **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 (in Ukrainian).

39. **Gayda S.V., Kiyko O.A.** (2018). Shape stability as a quality criterion for PCW-made blockboards. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 17, 185-192. <https://doi.org/10.15421/411834> (in Ukrainian)

40. **Gayda S.V.** (2018). Технологія МДФ-фасадів / Tekhnolohiyi MDF-Fasadiv (MDF Facade Technologies). *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 44:70-83 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42184410>

UDC 684.41

Postgraduate student T.I. Podibka – UNFU

Development of mathematical models for predicting dimensional stability of furniture boards using the finite element method

An approach for predicting the properties of furniture boards made of common beech wood (*Fagus sylvatica* L.) based on the finite element method is proposed. It has been found that in the constructions of furniture panels made of beech wood, an orthogonal, cylindrical or transversal calculation scheme of anisotropy can be attributed depending on the dimensions of the furniture panels and the orientation of the fibers in the rails. A model of the physical and mechanical properties of monolithic or jointed slats made of beech wood during the finite element analysis of furniture boards based on the cylindrical coordinate system of the anisotropy of constant elasticity is proposed. It has been established that the practical use of the cylindrical anisotropy scheme when solving the problems of the mechanics of a rigid deformed body for the calculation of furniture boards made of beech wood is expedient when it is not possible to ignore the curvature of the annual layers, that is, when analyzing the dimensional stability of furniture boards and monolithic or jointed reibukaak made of beech wood with swelling and shrinkage. An applied methodology for calculating furniture boards made of beech wood has been developed, which makes it possible to take into account the peculiarities of the anisotropy of the physical and mechanical characteristics of the rails, taking into account their shrinkage and swelling when the temperature and humidity conditions of the environment change. The substantiation of new designs of furniture boards made of beech wood, which is based on the use of finite element analysis systems, allows identifying the shortcomings of these products at the conceptual stage of the project and correcting them before the start of production, taking into account the specified technical conditions. An optimal arrangement scheme of annual layers in adjacent slats of furniture panels made of beech wood is proposed, which ensures improvement of dimensional stability (reduction of gouging) of the structure while simultaneously reducing the stresses that arise when the humidity of the product increases during operation. Mathematical models are proposed that predict (describe) the strength and dimensional stability of furniture boards made of common beech wood. The developed model can be used for research and optimization of furniture boards of new designs according to the conditions of strength and deformability.

Keywords: furniture panel, lamella, beech (*Fagus sylvatica* L.), technology, gluing, form of stability, modeling, forecasting, splicing, anisotropy, wood properties, mathematical model, heat-and-moisture transfer, finite element method, iterative method, stress, deformation, orthotropic materials, polyvinyl acetate adhesives, adhesive wooden joint, strength, humidity, temperature.

УДК 630*181.9 Проф. В.В. Лавний¹, д-р сільськогосп. наук; ст. наук. співр. Р.М. Кравчук², канд. сільськогосп. наук; доц. Р.Р. Вицег³, канд. сільськогосп. наук; – НЛТУ України, проф. П. Шпатгельф⁴, доктор – Університет сталого розвитку Еберсвальде (Німеччина) doi: <https://doi.org/10.36930/42214704>

ВИДОВИЙ СКЛАД І ВИСОТНА СТРУКТУРА ПІДРОСТУ ДЕРЕВНИХ ВИДІВ В УМОВАХ СВІЖОЇ ГРАБОВО-СОСНОВОЇ СУДІБРОВИ УКРАЇНСЬКОГО РОЗТОЧЧЯ

В умовах свіжої грабово-соснової судіброви Українського Розточчя відбувається добре природне поновлення деревних видів як під наметом лісу після проведеного першого прийому рівномірно-поступової рубки, так і на зрубках після суцільнолісосічної рубки. Після першого прийому рівномірно-поступової рубки загальна кількість самосіву і підросту змінюється від незадовільного (10480 шт./га) на початку вегетаційного періоду 2020 року до доброго (41528 шт./га) у кінці вегетаційного періоду 2020 року. Через рік його кількість майже не змінилася і у кінці вегетаційного періоду 2021 року становила 42693 шт./га. Проте частка дуба звичайного в загальній кількості підросту тут становить лише 1,7 %. Природне поновлення всіх деревних видів під наметом лісу характеризується нерівномірним поширенням на площі. Найбільшу частоту трапляння має граб звичайний – 75,6 %. Такі види як сосна звичайна, береза повисла та верба козяча мають частоту трапляння в межах від 30,8 до 39,7 %. Значно рідше зустрічаються інші деревні види, в тому числі і дуб звичайний (частота трапляння від 1,3 % до 12,8 %). На зрубках загальна кількість самосіву і підросту змінюється від 175,6-275,3 тис. шт./га на початку вегетаційного періоду 2020 року до 299,4 тис. шт./га у кінці вегетаційного періоду 2020 року, а через рік, восени 2021 року вона досягла 461,2 тис. шт./га. Найбільшу частоту трапляння мав також граб – 97,3-98,1 %, рідше траплявся дуб (43,5-77,3 %), береза (42,6-52,7 %) та сосна (29,6-34,0 %). Інші деревні породи, такі як липа, верба, явір, бук, в'яз, осика та інші мали частоту трапляння від 0,7 до 20 %. Загалом на всіх досліджених ділянках у складі підросту деревних видів переважала дрібна фракція висотою до 20 см. Для забезпечення переваги дуба звичайного в складі природно сформованого молодого деревостану на всіх ділянках потрібно провести лісівничий догляд за ним.

Ключові слова: природне поновлення; дуб звичайний; Українське Розточчя; свіжа грабово-соснова судіброва; лісознавство, лісівництво.

Актуальність. Після приєднання України до пан-європейського процесу ведення сталого лісового господарства, спрямованого на збереження лісових екосистем, невичерпне, збалансоване і постійне лісокористування, усе більшої актуальності набуває адаптаційний підхід до відтворення лісів, який базується на мак-

¹ Лавний Василь Володимирович – академік Лісівничої академії наук України, доктор сільськогосподарських наук, професор, проректор з наукової роботи. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-098-859-72-07. E-mail: lavnyy@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2069-90262>

² Кравчук Ростислав Миколайович – кандидат сільськогосподарських наук, директор ботанічного саду. Національний лісотехнічний університет України, вул. генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-097-668-63-34. E-mail: rmkravchuk@gmail.com

³ Вицег Руслан Романович – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри лісової таксації та лісовпорядкування. Національний лісотехнічний університет України, вул. генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-097-297-34-37. E-mail: ruslan.vitseha@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8463-673X>

⁴ Шпатгельф Петер – доктор, професор факультету лісу і довкілля. Університет сталого розвитку Еберсвальде, вул. Альфреда Мьолле-ра, 1, м. Еберсвальде, 16225 Німеччина. Тел. +49-(0)3334-657-171. E-mail: Peter.Spathelf@hnee.de

симально можливому використанні насіннєвого природного поновлення деревних видів. Адже загальновідомо, що природне поновлення рослин під наметом материнського деревостану значно скорочує термін їх лісовирощування, а нове покоління генетично і екологічно краще пристосоване до відповідних лісорослинних умов, клімату та ґрунту.

Проблема, яка вирішувалась – це оцінка впливу способу рубки головного користування у дубових лісах на хід природного поновлення деревних видів в умовах свіжої грабово-соснової судіброви Українського Розточчя.

Мета – дослідження успішності природного поновлення деревних видів за різних способів рубок головного користування. **Об'єкт досліджень** – видовий склад, кількість та висота самосіву і підросту деревних видів на зрубках та під наметом лісу. **Предмет досліджень** – процес природного поновлення деревних видів в Українському Розточчі.

Аналіз літературних джерел. Більшість науковців рекомендує створювати сприятливі умови для природного поновлення лісу, зважаючи на його переваги над методом штучного лісовідновлення [4, 19, 21-23, 26, 28, 29, 35, 36, 39, 44, 53]. Водночас, питання природного поновлення деревних видів потребує комплексних досліджень та розробки науково обґрунтованої системи лісгосподарських заходів, які сприяють появі та збереженню самосіву і підросту головних лісотвірних та господарсько цінних деревних порід у процесі ведення лісового господарства України на засадах наближеного до природи лісівництва [20, 25]. Одним із таких заходів є застосування правильного способу рубки головного користування. Як показує досвід окремих дослідників, природним шляхом із застосуванням певної системи рубок можна відновити навіть складні деревостани, які включають 5-7 деревних видів, зокрема і світлолюбних [15].

Українське Розточчя являє собою унікальний природний комплекс, який сформувався на Головному Європейському вододілі [49]. Актуальним завданням у цьому регіоні є відтворення та раціональне використання лісів на засадах сталого розвитку. Особливо важливим є питання відновлення та збільшення площ деревостанів дуба звичайного (*Quercus robur* L.) – найбільш поширеної та господарсько цінної деревної породи України загалом та Українського Розточчя зокрема. Вивченням природного поновлення дуба звичайного у різний час займалось багато українських [3, 6, 9, 19, 28, 30, 31, 33, 34, 51, 55] та іноземних науковців [2, 7, 8, 14, 27, 38, 40-44]. Дослідження проводилися в широких едафокліматичних умовах та в багатьох географічних регіонах нашої країни: від Закарпаття [1] до Сумщини [3, 39]. Основні лісотвірні деревні види Розточчя, в тому числі і дуб звичайний характеризуються високим репродуктивним потенціалом.

За сприятливих умов вони успішно поновлюються як на зрубках, так і під наметом материнських деревостанів (переважає задовільне та добре поновлення деревних порід із частотою трапляння 80-100 %) [22, 55].

Ґрунтовні наукові дослідження було проведено німецькими науковцями у визначенні ключових факторів для успішного та високоякісного поновлення дубових лісів на північному заході Німеччини. Для забезпечення довгострокової перспективи екологічної безперервності у дубових лісах необхідне ретельне та адаптивне планування їхнього відновлення. Тому природне поновлення дуба рекомендують проводити в безпосередній близькості до старих дубових насаджень або

безпосередньо в них [40]. До подібних висновків прийшли і англійські науковці, які стверджують, що на півдні Англії кількість сіянців дуба тісно пов'язана з кількістю та відстанню до батьківських дерев і зменшується щороку на 40-50 % [14]. Науковцями встановлено, що природно відтворені деревостани дуба краще ростуть, швидше зникаються, добре конкурують з другорядними деревними видами, відзначаються більшою стійкістю до несприятливих природних чинників. Ефективне використання потенційних можливостей природного відтворення дубових лісостанів дасть змогу не тільки зменшити витрати на відновлення насаджень, а й сприятиме істотному скороченню термінів вирощування стиглої дубової деревини та підвищенню продуктивності дубових деревостанів.

Водночас це забезпечить формування стійкіших до прояву негативних природних явищ лісостанів за участю дуба звичайного [19]. До подібних висновків схиляється і Василевський, який здійснив багато досліджень природних дубових лісів на Вінничині. Він стверджує, що основною причиною зменшення частки природних дубових лісів на Вінничині є створення лісових культур та низький рівень використання природного поновлення дуба звичайного через відсутність років інтенсивного плодоношення [51, 52]. Відомо, що успішність природного насінневого поновлення деревних порід залежить від багатьох факторів: наявності джерел обнасінення, рясності плодоношення, відновлювальної стиглості ґрунту, критерієм якої є стан лісової підстилки, а також умов подальшого розвитку та росту самосіву й підросту [2, 16, 27, 33, 38]. Проте, найбільш істотними факторами у процесі природного поновлення дубових деревостанів є освітлення та конкуренція молодих паростків дуба з супутніми деревними видами та трав'яною рослинністю [6, 9, 40]. Про тісний зв'язок між процесом природного поновлення дуба звичайного та показниками освітлення вказується у наукових працях багатьох авторів [2, 6, 9, 19, 22, 30, 31, 38, 43]. Вони рекомендують забезпечувати добре освітлення наявного самосіву і підросту дуба.

Польські науковці дійшли висновку, що для досягнення найкращих результатів з якості стовбурів необхідно забезпечити повне верхове освітлення дуба якомога раніше, але не пізніше 20-ти річного віку з моменту початку поновлення дуба звичайного [43]. Дослідниками встановлено, що п'ять років – це крайній термін, коли дуб витримує нестачу освітленості в умовах суборів та судібров. Зі зниженням повноти під намет деревостану проникає більше світла, і як наслідок – збільшується кількість підросту. Вертикальна структура деревостану та підріст старших поколінь безпосередньо впливають на надходження сонячної радіації до підросту дуба. Тому для успішності природного насінневого поновлення дуба в умовах суборів, а також для забезпечення його участі у складі майбутнього деревостану пропонується утримувати відносну повноту деревостану не більше 0,7 [9, 30, 31]. Подібної думки дотримується і Криницька.

Для успішного відтворення і формування природних деревостанів дуба необхідно проводити заходи щодо сприяння природному поновленню та відповідний лісогосподарський догляд для збереження його самосіву і підросту. Основним із них є розрідження материнських деревостанів до відносної повноти 0,6-0,7, зменшення конкуренції трав'яного покриву і підліску, а також своєчасне проведення освітлень [22]. Окрім освітлення успіх поновлення дуба звичайного значною мірою залежить також і від врожайності жолудів і від чисельності популяції

диких тварин. Про це пишуть науковці з Угорщини [44] та Швеції [27]. Для зменшення впливу копитних пропонується облаштовувати огорожі для захисту сіянців чи саджанців дуба [27]. Іншим важливим фактором, що впливає на інтенсивність та якість природного поновлення головних лісотвірних порід, зокрема дуба звичайного є розвиток конкуруючої підліскової та трав'янистої рослинності [13, 22, 27]. За результатами досліджень, проведених на Волині в умовах свіжого дубово-соснового субору встановлено, що найбільша кількість підросту сосни звичайної і дуба звичайного є на ділянках з низькою та середньою зімкнутістю трав'яного вкриття. Оптимальне середовище для появи і збереження сходів є у понижених та рівнинних ділянках мікрорельєфу, тут кількість підросту дуба є найвищою [42]. Системи моделювання німецьких науковців показали аналогічні результати: конкуренція з боку другорядних порід та трав'янистої рослинності є найбільш вирішальним фактором в успішності поновлення дуба звичайного [40]. Отже, для збільшення кількості самосіву та підросту дуба науковці рекомендують проводити заходи зі сприяння природному поновленню.

Одним з найдієвіших заходів для збільшення участі дуба у складі підросту є правильний вибір способу рубки (вибіркові, поступові, переформування), яка сприятиме як плодоношенню дуба, так і його якісному природному поновленню [3, 9, 28, 33, 42]. Науковці дійшли висновку, що шляхом проведення рівномірно-поступових рубок головного користування із удосконаленими і прогресивними технологіями можна досягти доброго природного поновлення дуба звичайного. Це сприятиме формуванню природних дубових лісів, підвищенню їхньої стійкості та посиленню еколого-захисних функцій [22, 39]. Багато досліджень у цьому напрямку було проведено на Вінничині [29, 51, 52]. Зокрема, було досліджено вплив реконструктивної рубки на поновлення лісу під наметом середньовікового дубового насадження. Науковцями встановлено, що збільшення освітленості дерев-насіників після проведення рубки сприяє кращому розвитку крон.

Рубку необхідно проводити у місцях з наявністю жолудів або густого природного насіннєвого поновлення дуба звичайного. Це буде сприяти кращій появі та збереженості молодого покоління дуба [29]. Незважаючи на те, що рослинність загалом та дубові лісостани зокрема в Українському Розточчі досліджувало чимало науковців [5, 12, 17, 18, 21, 22, 32, 45-50, 54, 55], особливості природного поновлення деревних видів в умовах свіжої грабово-соснової судіброви у цьому важливому регіоні залишаються ще недостатньо вивченими.

Регіон досліджень. Українське Розточчя – фізико-географічний район шириною 13-34 км, який починається від околиць Львова і простягається приблизно на 60 км на північний захід до кордону з Польщею [11]. Розточчя утворює вододіл між басейнами річок Дністер, Сян і Західний Буг. Його рельєф складається з горбистих пасм і горбів, що простягаються переважно з південного сходу на північний захід і досягають висоти понад 390 м над рівнем моря. Поверхня Розточчя густо розчленована мережею потічків та малих річок, а також системою ярів і балок [11, 17, 18]. За лісогосподарським районуванням, Розточчя є підрайоном Опільсько-Розтоцького лісогосподарського району з буковими, сосново-буковими, дубовими і грабово-дубовими лісами Західноукраїнського лісостепового округу [10]. З поміж інших рівнинних районів Львівської області Розточчя вирізняється найвищою лісистістю, яка становить близько 40 %.

Відповідно до лісівничо-екологічних принципів класифікації лісів [37], пануючим трофотопом в лісовому фонді Розточчя є сугруди (65,9 % площі), значно менше представлені груди (26,4 %), ще менше – субори (7,0 %) і на зовсім невеликій площі трапляються бори (0,7 %). На свіжі гігротопи припадає 82,2 % площі, на вологі – 15,1 %, сирі – 2,7 %, а сухі і мокрі гігротопи практично відсутні. Ліси переважно мішані. У їх складі найчастіше трапляється сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.) – 42 % площі; дуб звичайний (*Quercus robur* L.) формує лісостани на 23 % площі, бук лісовий (*Fagus sylvatica* L.) – 15 %. Дубові і сосново-дубові деревостани займають переважно підніжжя схилів і долини між горбами. Останні характерні також для всіх орографічних елементів середньогорбистих і хвилястих місцевостей [11].

Об'єкти та методика досліджень. Природне поновлення дуба звичайного та інших деревних видів ми вивчали як під наметом дубового деревостану після проведеного першого прийому рівномірно-поступової рубки головного користування, так і на суцільних зрубках (табл. 1, 2). Для визначення кількості наявного самосіву і підросту закладали облікові площадки розміром 2 м² або 4 м² кількістю від 26 до 50 шт. на кожній ділянці. Крім того, ми заміряли висоту самосіву і підросту та розподіляли його на такі групи висот: до 20 см, 21-50 см, 51-130 см та понад 130 см. Облік проводився три рази: на початку вегетаційного періоду 2020 року, в кінці вегетаційного періоду 2020 року та у кінці вегетації 2021 року.

Дослідження природного поновлення деревних видів ми проводили в 138-ми річному деревостані свіжої грабово-соснової судіброви (С₂-гсД) Лелехівського лісництва Страдцівського навчально-виробничого лісокомбінату (НВЛК) в 17 кв., вид. 5. Склад материнського деревостану – 9Дз1Гз+Сз,Бп. Дуб у складі деревостану представлений двома поколіннями: старовіковими і середньовіковими особинами. На цій ділянці в лютому-березні 2020 р. було проведено перший прийом рівномірно-поступової рубки інтенсивністю близько 30%.

У цьому ж типі лісу (С₂-гсД) для порівняння дослідження природного поновлення деревних видів проводилися також на двох зрубках у 25 кварталі Лелехівського лісництва Страдцівського НВЛК, у 8-му та 9-му таксаційних виділах. Склад материнського деревостану був 7Дз1Сз2Гз+Бп, вік 138 років. На ділянці 8.1 середній діаметр дуба становив 40 см, а на ділянці 9.1 – 36 см. На обидвох цих ділянках провели суцільнолісосічну рубку в лютому-березні 2020 р.

Результати досліджень. Отримані нами дані показали, що на всіх досліджених ділянках в умовах свіжої грабово-соснової судіброви відбувається добре природне поновлення деревних видів. Після першого прийому рівномірно-поступової рубки загальна кількість самосіву і підросту змінюється від незадовільного (10480 шт./га) на початку вегетаційного періоду 2020 року до доброго (41528 шт./га) у кінці вегетаційного періоду 2020 року. Через рік кількість самосіву і підросту деревних видів дещо зросла і у кінці вегетаційного періоду 2021 року становила 42693 шт./га (табл. 1). Дослідження показали, що під наметом дубового деревостану, який залишився після проведення першого етапу рівномірно-поступової рубки спостерігалось збільшення кількості самосіву та підросту дуба звичайного впродовж вегетаційного періоду 2020 року від 192 шт./га до 576 шт./га, однак через рік (восени 2021 року) підросту дуба стало менше – 385 шт./га. Це пояснюється тим, що на цій ділянці було помічено сліди пошкоджень

молодих особин дуба звичайного представниками лісової фауни, а також заглушення його трав'янистою рослинністю. Аналіз видового складу деревних видів показав, що серед самосіву і підросту домінує граб звичайний та верба козяча, усереднена частка яких за даними трьох обліків становить 57,9 % і 23,1 % від загальної кількості самосіву і підросту (табл. 1). А частка дуба звичайного в загальній кількості підросту становить лише 1,7 %. Це означає, що без допомоги лісівників дубу звичайному буде складно знову стати панівною породою в молодому деревостані. Також трапляється природне поновлення таких порід як сосна (5,9 %), береза (9,4 %), явір (1,4 %) та інших, частка яких в складі підросту не перевищує 0,5 % (табл. 1, рис. 1).

Таблиця 1. Видовий склад та кількість самосіву і підросту деревних видів на пробній площі після першого прийому рівномірно-поступової рубки за групами висот, шт./га

Деревний вид	Групи висот, см	Період обліку		
		весна 2020 р.	осінь 2020 р.	осінь 2021 р.
Граб звичайний	≤ 20	8173	11635	5577
	21-50	1442	1538	7212
	51-130	481	481	5000
	> 130			1346
Сосна звичайна	≤ 20		2019	5385
	21-50			96
	51-130			
	> 130			
Береза повисла	≤ 20		4423	1827
	21-50		96	3077
	51-130			2500
	> 130			
Дуб звичайний	≤ 20	192	288	385
	21-50		192	385
	51-130		96	
	> 130			
Дуб червоний	≤ 20			
	21-50			96
	51-130			
	> 130			
Верба козяча	≤ 20		6154	192
	21-50		10192	4712
	51-130		4327	3558
	> 130			
Верба біла	≤ 20			
	21-50			96
	51-130			
	> 130			
Клен-явір	≤ 20	192	96	
	21-50		96	673
	51-130			192
	> 130			
Горобина звич.	≤ 20			
	21-50		192	96
	51-130			96
	> 130			192
Всього підросту на 1 га		10480	41825	42693

Аналіз висотної структури підросту показав, що під наметом материнського деревостану після проведення першого прийому рівномірно-поступової рубки в природному поновленні дуба звичайного представлена переважно дрібна (≤ 20 см) та середня (21-50 см) фракції підросту. Серед поновлення найбільшу кількість становлять сходи і однорічні сіянці, а великий підріст висотою понад 130 см був наявний лише серед граба та горобини (табл. 1, рис. 2).

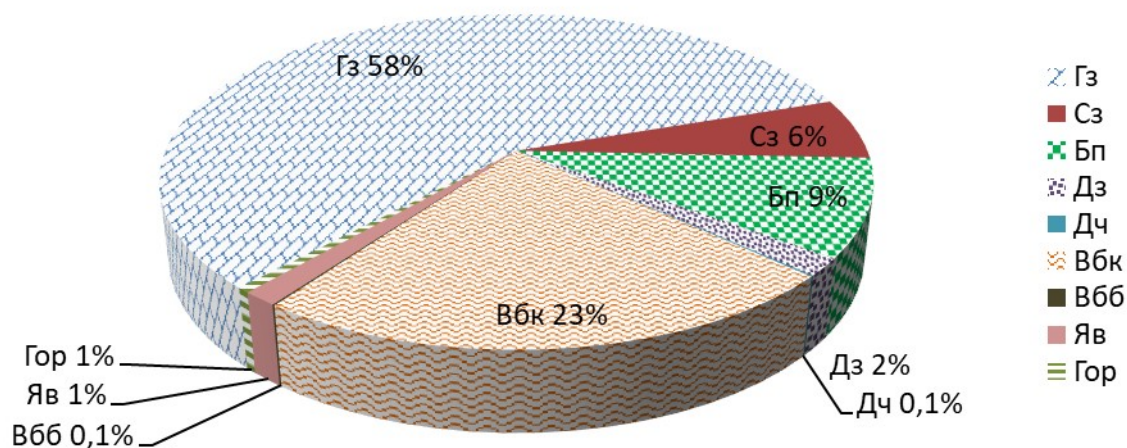


Рис. 1. Частка деревних видів у складі самосіву і підросту під наметом дубового деревостану після першого прийому рівномірно-поступової рубки

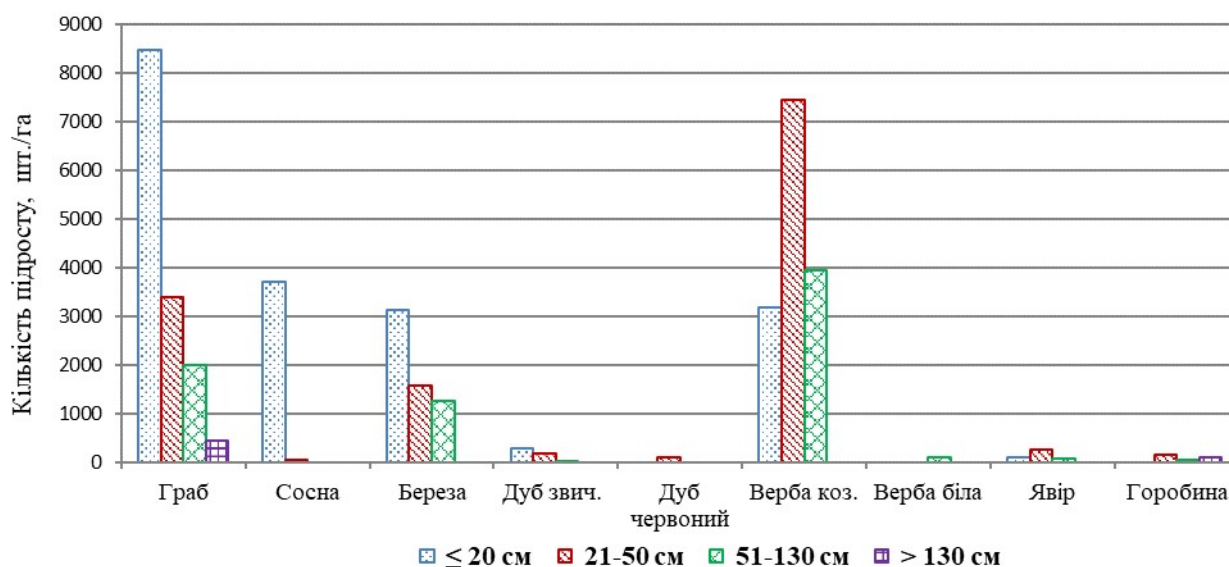


Рис. 2. Розподіл підросту за групами висот під наметом дубового деревостану після першого прийому рівномірно-поступової рубки

Просторовий розподіл підросту на площі ділянки репрезентує частота трапляння – виражене у відсотках відношення кількості облікових площадок з поновленням певного деревного виду до загальної кількості облікових площадок, закладених на ділянці. Під наметом дубового деревостану природне поновлення всіх деревних видів характеризується нерівномірним поширенням на площі.

Найвищу частоту трапляння має габ звичайний – 75,6 %. Такі види, як сосна звичайна, береза повисла та верба козяча характеризуються частотою траплян-

ня від 30,8 до 39,7 %. Значно рідше трапляються усі інші деревні види, в тому числі і дуб звичайний (від 1,3 до 12,8 %) (рис. 3).

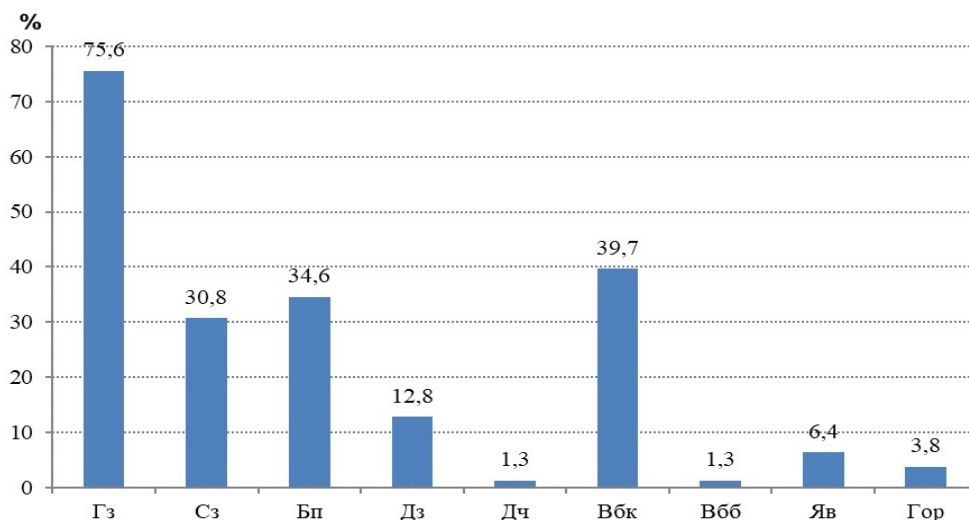


Рис. 3. Частота трапляння підросту деревних видів (%) під наметом дубового деревостану

Між кількістю підросту і частотою його трапляння в дубовому лісостані Лелехівського лісництва після першого прийому рівномірно-поступової рубки встановлено тісний кореляційний зв'язок ($R^2 = 0,9$):

$$N = 0,881 \cdot Z^2 + 133,82 \cdot Z - 494,65,$$

де N – кількість підросту, шт.; Z – показник трапляння, %.

За частотою трапляння деревного виду в складі підросту можна прогнозувати його подальшу участь у структурі майбутнього деревостану. Кількість підросту та його видовий склад значною мірою визначаються інтенсивністю розвитку трав'яного вкриття і підліску, щільністю лісової фауни, величиною зімкнутості крон материнського деревостану та іншими чинниками. Однією з основних причин, що призводять до загибелі підросту, є заглушення його трав'янистою рослинністю. Величина проєктивного вкриття трав'яного ярусу на облікових площадках дуже сильно відрізнялася (від 1 % до 100 %), а його висота коливалася від 3 см до 120 см. Найкраще природне поновлення деревних видів відбувалося в місцях з невеликою зімкнутістю трав'яного покриву, а також у разі переважання в його складі невисоких рослин. Склад живого надґрунтового покриву на пробних площах був досить одноманітний. У ньому домінували ожина сиза (*Rubus caesius* L.), кунічник наземний (*Calamagrostis epigejos* (L.) Roth.) та осока трясучкоподібна (*Carex brizoides* L.), рідше зустрічаються підмаренник білий (*Galium album* Mill.) та щитник чоловічий (*Dryopteris filix-mas* (L.) Schott).

Товщина лісової підстилки у середньому становила 2 см. Порівняно з ділянкою, на якій було проведено рівномірно-поступову рубку, значно більшу кількість підросту деревних видів було зафіксовано на двох зрубках після проведення суцільнолісосічної рубки стиглого дубового деревостану віком 138 років. Загальна кількість підросту на зрубках змінюється від 175,6 - 275,3 тис. шт./га на початку вегетаційного періоду 2020 року до 299,4 тис. шт./га у кінці вегетаційного періоду 2020 року, а через рік, восени 2021 року вона зросла до 461,2 тис. шт./га (табл. 2). Варто зазначити, що левову частку у складі природного поновлення деревних

видів на зрубках становлять молоді особини граба звичайного, які на певних облікових площадках являли собою дуже густу "щітку".

Таблиця 2. Видовий склад та кількість самосіву і підросту деревних видів на зрубках за групами висот, шт./га

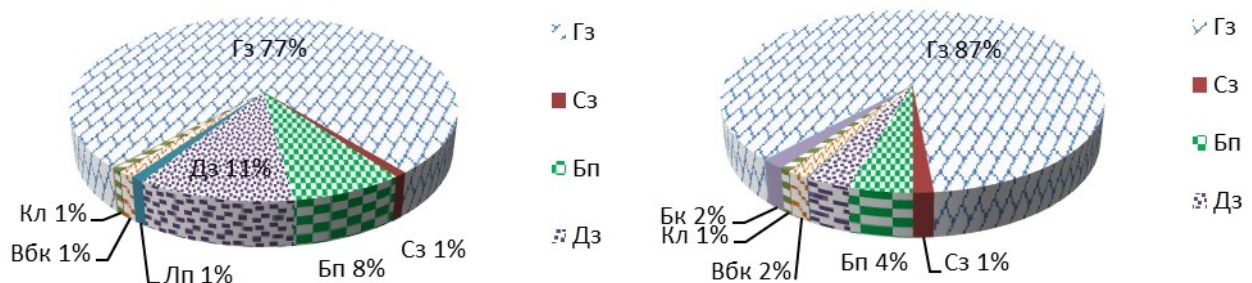
Деревний вид	Групи висот, см	Лелехівське лісництво, 25 кв., вид. 8.1			Лелехівське лісництво, 25 кв., вид. 9.1		
		Період обліку			Період обліку		
		VI 2020 р.	X 2020 р.	X 2021 р.	VI 2020 р.	X 2020 р.	X 2021 р.
Граб звичайний	≤ 20	239500	226400	154900	164861	178750	53472
	21-50	100	1700	147700	278	1806	211250
	51-130	100	200	11100	139	139	25556
	> 130					278	
Сосна звичайна	≤ 20		4600	3200		4861	2500
	21-50	300		1600			1389
	51-130						
	> 130						
Береза повисла	≤ 20		19100	7600		5417	1250
	21-50		4300	36500		1389	9444
	51-130			28800			10833
	> 130			1100			
Дуб звичайний	≤ 20	30700	35700	19000	5417	4861	2639
	21-50	1800	3200	19400		972	4444
	51-130			100			139
	> 130						
Липа дрібнол.	≤ 20		1800	1800			139
	21-50		800	5700			139
	51-130			2100			278
	> 130						
Верба козяча	≤ 20			1300			694
	21-50			8700			6389
	51-130			5900			3194
	> 130			100			
Верба біла	≤ 20			800			
	21-50			200			
	51-130						278
	> 130						
Клен-явір	≤ 20						
	21-50			200			
	51-130						139
	> 130						
Клен гостр.	≤ 20	1900	1100	900	1528	694	556
	21-50	600	400	300	139	556	556
	51-130	100	100	200			
	> 130						
Бук лісовий	≤ 20				139		139
	21-50				278	278	139
	51-130			100	2361	2361	2917
	> 130				417	278	139
В'яз шорсткий	≤ 20	200					
	21-50			300			
	51-130			200			
	> 130						
Осика	≤ 20						
	21-50			1200			139
	51-130			200			556
	> 130						
Всього підросту на 1 га		275300	299400	461200	175557	202640	339307

На відміну від великої кількості граба підросту дуба звичайного на зрубках було набагато менше, його кількість впродовж часу дослідження знаходилася на порівняно однаковому рівні. Так, у 25 кв. вид. 8.1 Лелехівського лісництва кільк-

кість підросту дуба звичайного весною 2020 р. становила 32500 шт./га, в кінці вегетаційного періоду 2020 року – 38900 шт./га, трохи зменшилася впродовж наступного року і восени 2021 року склала 38500 шт./га молодих особин дуба звичайного. На іншому зрубі у 25 кв. вид. 9.1 цього ж лісництва весною 2020 р. було обліковано 5417 особин дуба звичайного на гектарі. В кінці вегетаційного періоду 2020 року їхня кількість зросла до 5833 шт./га, а в кінці наступного вегетаційного періоду досягла 7222 шт./га.

У зв'язку з тим, що суцільнолісосічні рубки головного користування були проведені недавно, то закономірно, що на обидвох зрубках перевагу має дрібна фракція самосіву та підросту деревних видів. Підріст таких порід як бук, береза, верба висотою 51 см і вище має найчастіше порослеве походження.

Для того, щоб отримати краще загальне уявлення про хід природного поновлення на зрубках в умовах свіжої грабово-соснової судіброви ми узагальнили отримані дані на рис. 4.



а) Лелехівське лісництво, 25 кв., вид. 8.1

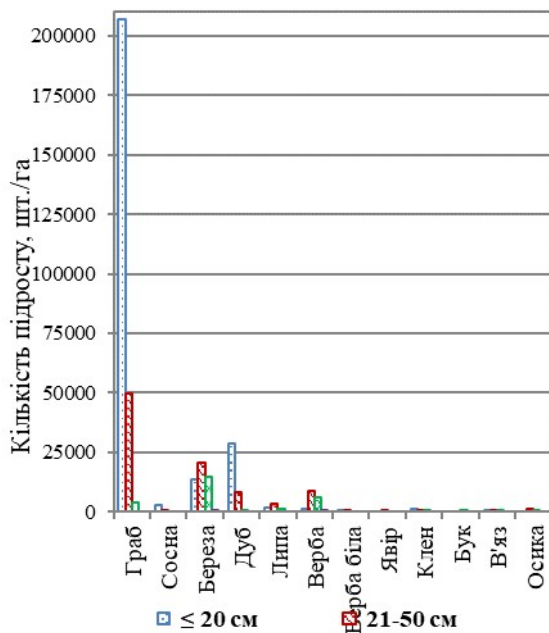
б) Лелехівське лісництво, 25 кв., вид. 9.1

Рис. 4. Частка деревних видів у складі самосіву і підросту на зрубках

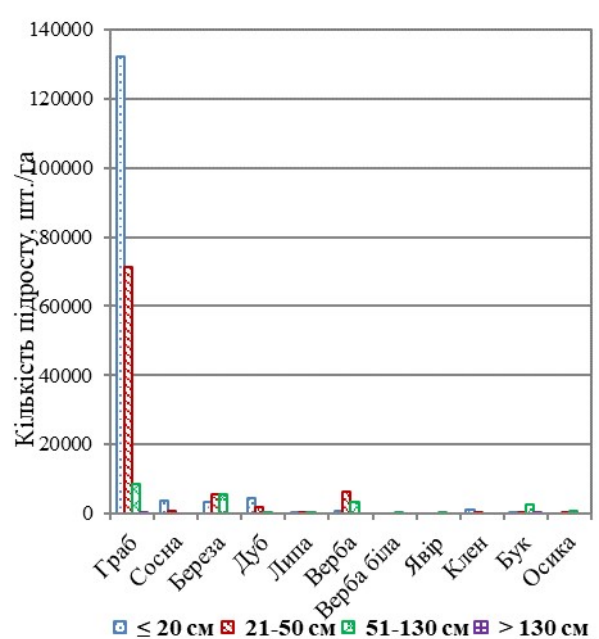
Аналіз складу підросту на досліджених зрубках показав, що серед деревних видів домінує граб звичайний, усереднена частка якого за даними трьох обліків становить 77-87 % від загальної кількості молодих особин, а частка дуба звичайного складає лише 3-11 %. Також зустрічається поодинокі природне поновлення таких супутніх видів як сосна звичайна, береза повисла, верба козяча, верба біла, липа дрібнолиста, клен гостролистий, клен-явір, горобина звичайна, бук лісовий, в'яз шорсткий, дуб червоний та осика (табл. 2, рис. 4). Отже, на зрубках у складі підросту присутнє природне поновлення всіх типотвірних деревних порід, що дає можливість лісівничими методами сформувати корінний деревостан.

Аналіз висотної структури підросту на зрубках показав, що в поновленні як дуба звичайного, так і інших деревних видів переважає дрібна фракція підросту (висотою до 20 см) (рис. 5). Однак, значна частина їх пізніше гине внаслідок пошкоджень молодих особин лісовими тваринами, негативного впливу нестачі світла, сильної конкурентної боротьби та інших несприятливих факторів.

Характер розподілу підросту на площі свідчить, що природне поновлення всіх деревних видів характеризується нерівномірним поширенням на зрубках. Найбільшу частоту трапляння має граб звичайний – 97,3-98,1 %, рідше трапляється дуб звичайний (43,5-77,3 %), береза (42,6-52,7 %) та сосна звичайна (29,6-34,0 %). Інші деревні породи, такі як липа, верба, явір, бук, в'яз та осика – від 0,7 до 20 % (рис. 6).

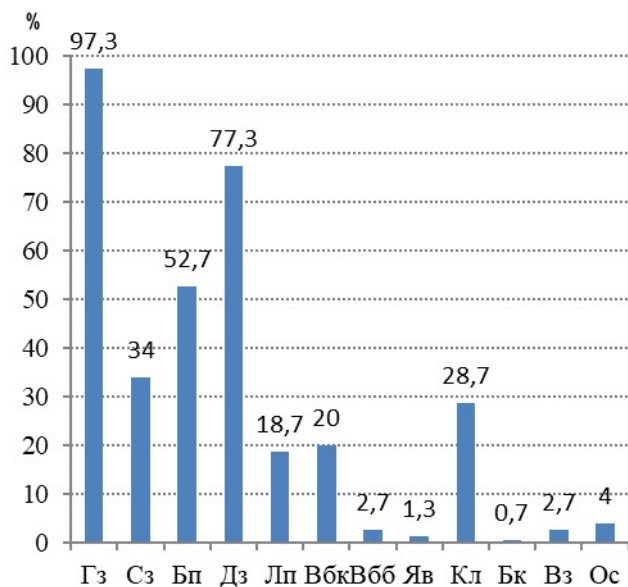


а) Лелехівське лісництво, 25 кв., вид. 8.1

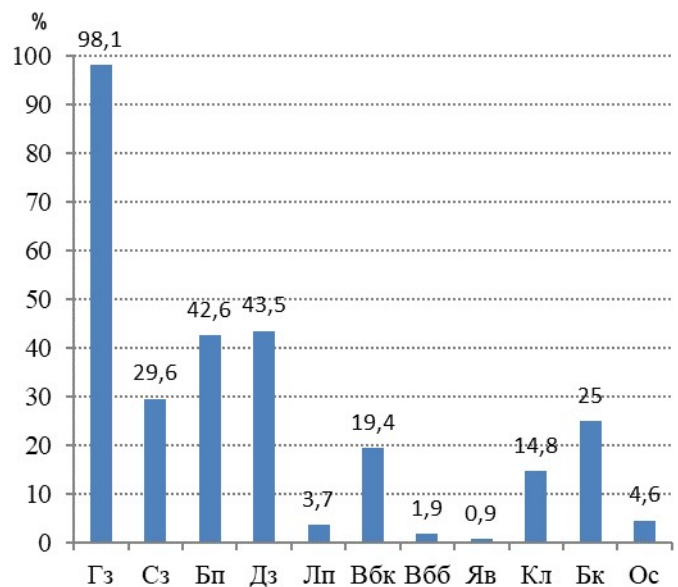


б) Лелехівське лісництво, 25 кв., вид. 9.1

Рис. 5. Розподіл підросту деревних видів на зрубках за групами висот



а) Лелехівське лісництво, 25 кв., вид. 8.1



б) Лелехівське лісництво, 25 кв., вид. 9.1

Рис. 6. Частота трапляння підросту деревних видів (%) на зрубках

Між кількістю підросту на пробних площах і частотою його трапляння встановлено дуже тісні кореляційні зв'язки:

$$N = 39,712 \cdot Z^2 - 1719,5 \cdot Z + 10643 \quad (R^2 = 0,9) \quad (25 \text{ кв., вид. 8.1}),$$

$$N = 24,574 \cdot Z^2 - 787,67 \cdot Z + 4556,1 \quad (R^2 = 1,0) \quad (25 \text{ кв., вид. 9.1}),$$

де: N – кількість підросту, шт.; Z – частота трапляння, %.

Величина проективного вкриття трав'яного ярусу на зрубках становила від 10 % на початку вегетаційного періоду 2020 року (в перший рік після проведення суцільнолісосічної рубки) до понад 70 % у кінці вегетаційного періоду 2021 року,

а його середня висота – 6 см та 70 см відповідно. Найкраще процес природного поновлення відбувався на ділянках з невисокими рослинами та з невеликою зімкнутістю трав'яного покриву. У складі трав'яного ярусу на зрубах переважали анемона лісова (*Anemone sylvestris* L.) куничник наземний (*Calamagrostis epigejos* (L.) Roth.), осока трясучкоподібна (*Carex brizoides* L.), молочай мигдалевидний (*Euphorbia amygdaloides* L.), конвалія звичайна (*Convallaria majalis* L.), медунка лікарська (*Pulmonaria officinalis* L.) та зірочник ланцетолистий (*Stellaria holostea* L.). Товщина лісової підстилки в середньому становила 1,0 см.

Загальні висновки.

1. Досліджено, що в умовах свіжої грабово-соснової судіброви Українського Розточчя відбувається добре природне поновлення деревних видів як під наметом стиглого дубового деревостану після проведення в ньому першого прийому рівномірно-поступової рубки головного користування, так і на зрубах після суцільнолісосічної рубки стиглих дубових деревостанів.

2. У складі підросту на досліджених ділянках найчастіше траплявся граб звичайний, усереднена частка якого за даними трьох обліків становить 58-87 % від загальної кількості молодих особин.

3. Частка дуба звичайного у складі самосіву і підросту є досить мала: лише 2 % після першого прийому рівномірно-поступової рубки та 3-11 % на зрубах. Це означає, що на всіх ділянках потрібно провести лісівничі заходи для сприяння природному поновленню дуба звичайного та забезпечення його переваги у складі природно сформованого молодого деревостану.

4. Встановлено, що на процес природного поновлення деревних видів на досліджених ділянках впливає комплекс абіотичних, біотичних та антропогенних факторів. Основними з них є кліматичні показники, видовий склад і зімкнутість живого надґрунтового покриву, кількість лісової фауни, організація лісосічних робіт та очищення місць рубок.

5. Аналіз висотної структури підросту показав, що в ньому переважає дрібна фракція (висотою до 20 см).

6. Частота трапляння молодих особин дуба звичайного на пробних площах відрізняється і становить 12,8 % після першого прийому рівномірно-поступової рубки та 43,5-77,3 % на зрубах після суцільнолісосічної рубки.

7. Між кількістю підросту на пробних площах і частотою його трапляння встановлено дуже тісні кореляційні зв'язки: $R^2 = 0,9-1,0$.

References

1. Agiy V.O., Kopiy S.L., Fyzik I.V., Kopiy L.I. (2016). Вплив лісгосподарських заходів на перерозподіл органічної речовини та хімічних елементів ґрунту в дубових лісах Закарпаття / *Vplyv lisohospodars'kykh zakhodiv na pererозpodil orhanichnoyi rehovyny ta khimichnykh elementiv ґruntu v dubovykh lisakh Zakarpattya* [Influence of forestry measures on the redistribution of organic matter and chemical elements of the soil in the oak forests of Transcarpathia]. Scientific Bulletin of UNFU of Ukraine 26(5):5-22 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.15421/40260502>

2. Annighöfer P., Beckschäfer P., Vor T., Ammer C. (2015). Regeneration patterns of European oak species (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl., *Quercus robur* L.) in dependence of environment and neighborhood. PLoS. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0134935>

3. Bondar O.B., Rumyantsev M.G., Kobets O.V., Sidorenko S.V., Yushchik V.S. (2020). Сучасний стан дубових насаджень на притоках Ворскли у межах Сумської області та особливості їхнього природного відновлення / *Suchasnyy stan dubovykh nasadzhen' na prytokakh Vorskly u*

mezhashk Sums'koyi oblasti ta osoblyvosti yikhnoho pryrodnoho vidnovlennya [The current state of oak plantations on the tributaries of the Vorskla within the Sumy region and the peculiarities of their natural regeneration]. *Scientific Bulletin of UNFU* 30(4):19-24 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/40300403>

4. **Crouzeilles R., Curran M., Ferreira MS., Lindenmayer DB., Grelle CEV., Benayas JMR.** (2016). A global meta-analysis on the ecological drivers of forest restoration success. *Nat. Commun.* doi: <https://doi.org/10.1038/ncomms11666>

5. **Danchuk O.T.** (2015). Моніторинг лісів Розточчя як системна складова поліфункційного сталого лісового господарства / *Monitorynh lisiv Roztochchya yak systemna skladova polifunktsiynoho staloho lisovoho hospodarstva* [Monitoring of Roztochchia forests as a system component of polyfunctional sustainable forestry]. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine* 13:64-69 (in Ukrainian). doi: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nplanu_2015_13_11

6. **Didenko M.M., Polyankov O.K.** (2018). Стан природного поновлення дуба звичайного під наметом лісу в Лівобережному Лісостепу / *Stan pryrodnoho ponovlennya duba zvychnoho pid nametom lisu v Livoberezhnomu Lisostepu* [The state of natural regeneration of the common oak under the forest canopy in the Left-Bank Forest-Steppe]. *Forestry and Agroforestry* 132:25-34 (in Ukrainian).

7. **Dillen M., Smit C., Verheyen K.** (2017). How does neighbourhood tree species composition affect growth characteristics of oak saplings? *For. Ecol. Manag.* 401:177-186. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.07.016>

8. **Dobrowolska D.** (2006). Oak natural regeneration and conversion processes in mixed Scots pine stands. *Forestry* 79: 503-513. doi: <https://doi.org/10.1093/forestry/cpl034>

9. **Fedonyuk T.P., Fedonyuk R.G., Zinchuk Y.V., Pastushchik V.V.** (2017). Успішність природного насіннєвого поновлення дуба звичайного на Житомирщині / *Uspishnist' pryrodnoho nasynnyevoho ponovlennya duba zvychnoho na Zhytomyrshchyni* [Success of natural seed regeneration of the common oak in Zhytomyr region]. Abstracts of the Ukrainian scientific-practical conference "Sustainable development of the country in within the framework of European integration", Zhytomyr: Zhytomyr State Technological University. P. 78-80 (in Ukrainian).

10. **Gensiruk S.A.** (1981). Основные принципы комплексного лесохозяйственного районирования / *Osnovnyye printsipy kompleksnogo lesokhozyaystvennogo rayonirovaniya* [Basic principles of complex forestry zoning]. Kyiv, Naukova dumka, P. 6-20 (in Russian).

11. **Gerenchuk K.I.** (1972). Природні ландшафти і райони / *Pryrodni landshafy i rayony* [Natural landscapes and districts]. Nature of Lviv region. Lviv, P. 107-133 (in Ukrainian).

12. **Gerushynsky Z.Y.** (1996). Збереження і відтворення сосново-дубових деревостанів Розточчя / *Zberezhennya i vidtvorennya sosnovo-dubovykh derevostaniv Roztochchya* [Preservation and reproduction of pine-oak stands Roztochche]. Lviv: Ukrainian State Forestry University Publishing House, 180 p. (in Ukrainian).

13. **Gordienko M.I.** (2004). Дуб звичайний суборевого екотипу в культурах Полісся / *Dub zvychnyy suborevoho ekotypu v kul'turakh Polissya* [Pedunculate oak of the subir ecotype in the cultures of Polissya]. Kyiv, 168 p. (in Ukrainian).

14. **Harmer R., Boswell R., Robertson M.** (2005). Survival and growth of tree seedlings in relation to changes in the ground flora during natural regeneration of an oak shelterwood. *Forestry* 78:21-32. doi: <https://doi.org/10.1093/forestry/cpi003>

15. **Ivanytsky R.S.** (2011). Природне поновлення деревостанів на зрубках у Суразькій лісовій дачі / *Pryrodne ponovlennya derevostaniv na zrubakh u Suraz'kiy lisoviy dachi* [Natural regeneration of stands on clear cut areas in Surazh forest]. *Scientific Bulletin of UNFU* 21(10):19-24 (in Ukrainian).

16. **Ishchuk G.P.** (2017). Природне поновлення дуба і граба під наметом насаджень та на зрубках на ДП "Корсунь-Шевченківське лісове господарство" / *Pryrodne ponovlennya duba i hraba pid nametom nasadzhen' ta na zrubakh na DP "Korsun'-Shevchenkivs'ke lisove hospodarstvo"* [Natural regeneration of oak and hornbeam under the tent of plantings and on clear cut areas in Korsun-Shevchenkivske Forestry State Enterprise]. *Scientific Bulletin of UNFU* 27(1):15-18 (in Ukrainian).

17. **Kovalchuk I.P.** (1999). Гідрологічні особливості Українського Розточчя / *Hidrolohichni osoblyvosti Ukrayins'koho Roztochchya* [Hydrological features of the Ukrainian Roztocze]. Nature of Roztocze: collection science work. Lviv: UNFU of Ukraine 1:52-58 (in Ukrainian).
18. **Kovalchuk I.P.** (2003). Геоєкологія Розточчя / *Heoekolohiya Roztochchya* [Geoecology of Roztocze]. Lviv: Published Center of LNU. 192 p. (in Ukrainian).
19. **Kopiy L.I., Fyzik I.V., Baran S., Lavnyy V.V., Kopiy S.L., Presner R.B., & Agij V.** (2017). Природне насінне відтворення дубових насаджень як елемент наближеного до природи лісівництва / *Pryrodne nasinne vidtvorennnya dubovykh nasadzen' yak element nablyzhenoho do pryrody lisivnytstva* [Natural seed reproduction of oak plantations as an element of close to nature forestry]. *Scientific Bulletin of UNFU* 27(9):9-13 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.15421/40270901>
20. **Kravchuk R.M.** (2009). Природне поновлення чорновільхових лісостанів у Малому Поліссі України / *Pryrodne ponovlennnya chornovil'khovykh lisostaniv u Malomu Polissi Ukrayiny* [Natural regeneration of black alder forests in Small Polissya of Ukraine]. *Scientific Bulletin of UNFU* 19(10):53-58 (in Ukrainian).
21. **Krynytska O.G.** (2015). Особливості нагромадження опаду в грабово-сосново-дубових деревостанах, сформованих на зрубках поступових рубок в умовах Львівського Розточчя / *Osoblyvosti nahromadzhennnya opadu v hrabovo-sosnovo-dubovykh derevostanakh, sformovanykh na zrubakh postupovykh rubok v umovakh L'vivs'koho Roztochchya* [Peculiarities of precipitation accumulation in hornbeam-pine-oak stands formed on shelterwood cut areas in the conditions of Lviv Roztocze]. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*. Lviv. UNFU of Ukraine 13:76-82. (in Ukrainian).
22. **Krynytska O.G.** (2019). Лісівничо-екологічні засади природного відтворення та формування сосново-дубових лісостанів в умовах Львівського Розточчя / *Lisivnycho-ekolohichni zasady pryrodnogo vidtvorennnya ta formuvannya sosnovo-dubovykh lisostaniv v umovakh L'vivs'koho Roztochchya* [Forestry and ecological principles of natural reproduction and formation of pine and oak stands in the conditions of Lviv Roztocze]. (Doctoral dissertation, Kharkiv, Ukraine) (in Ukrainian).
23. **Krynytsky G.T., Chernyavsky M.V., Derbal Y.Y.** (2014). Наближене до природи та багатофункціональне ведення лісового господарства в Карпатському регіоні України та Словаччини / *Nablyzhene do pryrody ta bahatofunktsional'ne vedennnya lisovoho hospodarstva v Karpats'komu rehioni Ukrayiny ta Slovachchyny* [Close to nature and multifunctional forestry management in the Carpathian region of Ukraine and Slovakia]. Uzhhorod: PP "Kolo", 280 p. (in Ukrainian).
24. **Lavnyy V.V.** (2019). Успішність природного поновлення деревних порід на вітровальних ділянках в Українських Карпатах / *Uspishnist' pryrodnogo ponovlennnya derevnykh porid na vitroval'nykh dilyankakh v Ukrayins'kykh Karpatakh* [Success of natural regeneration of tree species on windthrow areas in the Ukrainian Carpathians]. *Scientific Bulletin of UNFU* 29(10):61-65 (in Ukrainian).
25. **Lavnyy V.V., Mazepa V.G., Shishkaninets I.F., Zayats M.V.** (2021). Особливості природного поновлення у букових деревостанах Українських Карпат / *Osoblyvosti pryrodnogo ponovlennnya u bukovykh derevostanakh Ukrayins'kykh Karpat* [Peculiarities of natural regeneration in beech stands of the Ukrainian Carpathians]. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine* 22:41-51 (in Ukrainian).
26. **Lavnyy V.V.** (2021). Лісівничо-екологічні засади відновлення корінних деревостанів на вітровальних ділянках в Українських Карпатах : монографія / *Lisivnycho-ekolohichni zasady vidnovlennnya korinnykh derevostaniv na vitroval'nykh dilyankakh v Ukrayins'kykh Karpatakh* [Forestry and ecological principles of restoration of primary stands on windthrow areas in the Ukrainian Carpathians: monograph]. Lviv: Galician Publishing Union, 296 p. (in Ukrainian).
27. **Leonardsson J., Löf M., Götmark F.** (2015). Exclosures can favour natural regeneration of oak after conservation-oriented thinning in mixed forests in Sweden: a 10-year study. *For. Ecol. Manag.* 354:1-9. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.07.004>
28. **Levchenko V.V.** (2006). Природне насіннєве лісопоновлення у свіжих дібровах північної частини Правобережного Лісостепу / *Pryrodne nasinnyeve lisoponovlennnya u svizhykh*

dibrovakh pivnichnoyi chastyny Pravoberezhnogo Lisostepu [Natural seed reforestation in fresh oak stands of the northern part of the Right Bank Forest-Steppe]. (Doctoral dissertation, Kyiv, Ukraine) (in Ukrainian).

29. **Levchenko V.V.** (2019). Рубка сприяння природному поновленню дуба звичайного / *Rubka spryannya pryrodnomu ponovlennyu duba zvychnyoho* [Cutting to promote the natural regeneration of pedunculate oak]. *Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine* 16:10-18 (in Ukrainian).

30. **Lustyuk T.V.** (2015). Вплив освітленості під наметом деревостанів на кількість і якість природного насінневого поновлення дуба звичайного (*Quercus robur* L.) у вологих суборах західного Полісся / *Vplyv osvitchenosti pid nametom derevostaniv na kil'kist' i yakist' pryrodnoho nasinnyevoho ponovlennya duba zvychnyoho (Quercus robur L.) u volohykh suborakh zakhidnoho Polissya* [Influence of light under stands canopy on the quantity and quality of natural seed regeneration of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in wet forests of Western Polissya]. *Scientific Bulletin of UNFU* 25(1):87-91 (in Ukrainian). doi: <https://nv.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/781>.

31. **Lustyuk T.V.** (2015). Лісівничі властивості природного насінневого поновлення дуба звичайного (*Quercus robur* L.) суборового екотипу в умовах Західного Полісся / *Lisivnychi vlastyvoli pryrodnoho nasinnyevoho ponovlennya duba zvychnyoho (Quercus robur L.) suborovoho ekotypu v umovakh Zakhidnoho Polissya* [Forestry properties of natural seed regeneration of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) of subor ecotype in the conditions of Western Polissya]. *Scientific Bulletin of UNFU* 25(8):112-117 (in Ukrainian).

32. **Mazepa V.G., Krynytska O.G.** (2015). Тенденції зміни екологічних факторів у відтворених природним шляхом лісостанах Львівського Розточчя / *Tendentsiyi zminy ekolohichnykh faktoriv u vidtvorenykh pryrodnyshlyakhom lisostanakh L'vivskoho Roztochchya* [Trends in changes in environmental factors in naturally restored forests of Lviv Roztochze]. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine* 11:83-87 (in Ukrainian).

33. **Matusyak M.V.** (2016). Оцінювання ефективності використання природного поновлення дуба звичайного (*Quercus robur* L.) за лісовідновлення на суцільних зрубках в умовах свіжих грабових дібров Поділля / *Otsinyuvannya efektyvnosti vykorystannya pryrodnoho ponovlennya duba zvychnyoho (Quercus robur L.) za lisovidnovlennya na sutsil'nykh zrubakh v umovakh svizhykh hrabovykh dibrov Podillya* [Estimation of efficiency of use of natural regeneration of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) for reforestation on clear cut areas in the conditions of fresh hornbeam-oak forests of Podillya]. *Scientific Bulletin of UNFU* 26(4): 110-116. doi: <https://doi.org/10.15421/40260417> (in Ukrainian).

34. **Matusyak M.V., Neiko I.S., Yelisavenko Y.A.** (2019). Характеристика структури та лісовідновних процесів природних дубових лісостанів ДП “Хмільницьке ЛГ” / *Kharakterystyka struktury ta lisovidnovnykh protsesiv pryrodnykh dubovykh lisostaniv DP “Khmil'nyts'ke LH”* [Characteristics of structure and reforestation processes of natural oak stands of Khmilnyk Forestry State Enterprise]. *Collection of scientific works of VNAU*. Vinnytsia, VNAU. 12:131-141 (in Ukrainian).

35. **Maurer V.M.** (2008). До питання про відтворення лісів в зоні успішного природного поновлення лісоутворюючих порід / *Do pytannya pro vidtvorennya lisiv v zoni uspishnoho pryrodnoho ponovlennya lisoutvoryuyuchykh porid* [On the issue of forest reproduction in the zone of successful natural regeneration of forest-forming species]. Abstracts of reports of participants of the conference of scientific and pedagogical workers, researchers and graduate students and the 62nd Student Scientific Conference of the National Academy of Sciences of the National Agrarian University of Ukraine. Kyiv: Logos, P. 28-30 (in Ukrainian).

36. **Maurer V.M.** (2012). Сучасні завдання з удосконалення відтворення лісових ресурсів у контексті сталого управління лісами / *Suchasni zavdannya z udoskonalennya vidtvorennya lisovykh resursiv u konteksti staloho upravlinnya lisamy* [Modern tasks for improving the reproduction of forest resources in the context of sustainable forest management]. *Scientific Bulletin of NULES of Ukraine*. 171(2):68-75 (in Ukrainian).

37. **Ostapenko B.F.** (2002). Лісова типологія / *Lisova typolohiya* [Forest typology]. Kharkiv: KSAU, 204 p. (in Ukrainian).

38. **Ostrogović M.Z., Sever K., Anić I.** (2010). Utjecaj svjetla na prirodno pomlađivanje hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.) u park-šumi Maksimir u Zagrebu [Influence of light on natural rejuvenation of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in the Maksimir Forest Park in Zagreb]. *Šumarski list* 134:115–122 (in Croatian).
39. **Rumyantsev M.G., Solodovnik V.A., Chigrinets V.P., Lunachevsky L.S., Kobets O.V.** (2016). Особливості формування і відтворення природних лісостанів дуба звичайного Лівобережного Лісостепу України / *Osoblyvosti formuvannya i vidtvorennya pryrodnykh lisostaniv duba zvychaynoho Livoberezhnoho Lisostepu Ukrayiny* [Peculiarities of formation and reproduction of natural oak stands of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine]. *Forestry and agroforestry*. Kharkiv: Ukrainian Research Institute of Forestry and Agroforestry, 128:63-73 (in Ukrainian).
40. **Mölder A., Sennhenn-Reulen H., Fischer C., Rumpf H., Schönfelder E., Stockmann J., Nagel R.V.** (2019). Success factors for high-quality oak forest (*Quercus robur*, *Q. petraea*) regeneration: *Forest Ecosystems* 6(1):1-17. doi: <https://forestecosyst.springeropen.com/articles/10.1186/s40663-019-0206-y>
41. **Schweitzer C.J., Janzen G.; Dey D.** (2016). Regenerating oak stands the "natural" way. In: Keyser, P.D.; Fearer, T.; Harper, C.A., eds. Managing oak forests in the eastern United States. Boca Raton, FL: CRC Press: 75-84. Chapter 7. 10 p.
42. **Shevchuk M., Myroniuk V., & Kurchyk O.** (2021). Reforestation process of fresh oak-pine forest in the State Enterprise «Kolkivske lisove hospodarstvo». *Notes in Current Biology*, (1), 38-41. doi: <https://doi.org/10.29038/NCBio.21.1.38-41>
43. **Skrzyszewski J., Pach M.** (2015). Crookedness of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) growing under a canopy of scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Scand J For Res* 30:688-698. doi: <https://doi.org/10.1080/02827581.2015.1048713>
44. **Solymos R.** (1993). Improvement and silviculture of oaks in Hungary. *Ann For Sci* 50:607-614. <https://doi.org/10.1051/forest:19930609>
45. **Soroka M.I.** (1990). Судинні рослини Державного заповідника "Розточчя" / *Sudynni roslyny Derzhavnoho zapovidnyka "Roztochchya"* [Vascular plants of the State Reserve "Roztochchya"]. Lviv, Ukrainian State Forestry University, 278 p. (in Ukrainian).
46. **Soroka M.I.** (1998). Лісова рослинність Українського Розточчя / *Lisova roslynnist' Ukrayins'koho Roztochchya* / Forest vegetation of Ukrainian Roztocze / The role of protected natural areas in the conservation of biodiversity: mater. science. conf. Kaniv, P. 109-111 (in Ukrainian).
47. **Soroka M.I.** (2002). Флора судинних рослин Українського Розточчя / *Flora sudynnykh roslyn Ukrayins'koho Roztochchya* [Flora of vascular plants of Ukrainian Roztocze]. Lviv, 154 p. (in Ukrainian).
48. **Soroka M.I.** (2006). Сучасні риси лісової рослинності Українського Розточчя / *Suchasni rysy lisovoyi roslynnosti Ukrayins'koho Roztochchya* [Modern features of forest vegetation of Ukrainian Roztocze]. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry: mater. international. scientific-practical conf. "Forestry of Ukraine in the context of world trends in forestry development"*. Lviv: UNFU of Ukraine 31:127-131 (in Ukrainian).
49. **Soroka M.I.** (2008). Рослинність Українського Розточчя / *Roslynnist' Ukrayins'koho Roztochchya* [Vegetation of Ukrainian Roztochchya]. Lviv: Svit Publishing House, 432 p. (in Ukrainian).
50. **Soroka M.I.** (2008). Флора та рослинність території, зарезервованої під створення міжнародного біосферного резервату "Розточчя" / *Flora ta roslynnist' terytoriyi, zarezervovanoji pid stvorennya mizhnarodnoho biosferneho rezervatu "Roztochchya"* [Flora and vegetation of the territory reserved for the creation of the international biosphere reserve "Roztocze"]. Materials for the project and nomination form. Lviv: UNFU Ukraine Publishing House, 115 p. (in Ukrainian).
51. **Vasylevsky O.G., Yelisavenko Y.A., Neiko I.S., Monarch V.V.** (2017). Сучасний стан природних дубових деревостанів ДП "Вінницьке ЛГ" / *Suchasnyy stan pryrodnykh dubovykh derevostaniv DP "Vinnyts'ke LH"* [The current state of natural oak stands of State Enterprise "Vinnytsia Forestry"]. *Bulletin of VNAU. Vinnytsia*, 7(1): 129-139 (in Ukrainian).

52. Vasylevsky O.G., Yelisavenko Y.A., Zlenko O.P., Monarch V.V. (2018). Лісовідновні процеси у природних дубових лісостанах ДП “Вінницьке ЛГ” / *Lisovidnovni protsesy u pryrodnykh dubovykh lisostanakh DP “Vinnyts'ke LH”* [Regeneration processes in natural oak forests of State Enterprise "Vinnytsia Forestry"]. *Collection of scientific works "Agrobiology"*. Bila Tserkva, 1(138): 201-209 (in Ukrainian).

53. Vedmid M.M. (2008). Попереднє поновлення в лісостанах свіжих дібров Лівобережної України / *Poperednye ponovlennya v lisostanakh svizhykh dibrov Livoberezhnoyi Ukrainy* [Preliminary renewal in the forests of fresh oak stands of the Left Bank of Ukraine]. *Forestry and agroforestry*. Kharkiv, 112:48-56 (in Ukrainian).

54. Yatsyuk Z.Y., Vyshnevsky Y.Y., Brusak V.P. (1995). Ґрунтовий покрив заповідника “Розточчя” / *Gruntovyu pokryv zapovidnyka “Roztochchya”* [Soil cover of the Roztochchya reserve]. Lviv: *Scientific Bulletin of UNFU* 4:51-59 (in Ukrainian).

55. Zvarych O.D., Zaika V.K., Stryamets G.V., Zvarych Y.V., Parobiy S.B. (2016). Природне поновлення у старовікових лісостанах природного заповідника “Розточчя” / *Pryrodne ponovlennya u starovikovykh lisostanakh pryrodnoho zapovidnyka “Roztochchya”* [Natural regeneration in the ancient forests of the nature reserve "Roztochchya"]. *Scientific Bulletin of UNFU* 26(7):77-85 (in Ukrainian).

UDC 630*181.9 **Prof. V.V. Lavnyy, Doctor of Sciences; R.M. Kravchuk, Ph.D, assoc. prof. R.R. Vytseha, Ph.D - UNFU; prof. P. Spathelf, Dr. – HNEE**

Tree species composition and height structure of undergrowth in fresh hornbeam-oak-pine forest on relatively rich soils of the Ukrainian Roztochia

Abstract. The fresh hornbeam-oak-pine forest on relatively rich soils of the Ukrainian Roztochia is characterized by a good natural regeneration of tree species, both under the forest canopy after the first irregular shelterwood cutting, and on two clear cut areas. After the first irregular shelterwood cutting, the total amount of self-seeding and undergrowth changes from unsatisfactory (10.480 pieces/ha) at the beginning of the 2020 vegetation season to good (41.528 pieces/ha) at the end of the 2020 growing season. A year later, its number has not changed and 42.693 individuals/ha were counted. However, the share of pedunculate oak in the total number of undergrowth here is only 1.7%. Natural regeneration of all tree species under the forest canopy is characterized by an uneven distribution in the area. Hornbeam has the highest incidence rate - 75.6%. Species such as Scots pine, hanging birch and goat willow have a frequency of 30.8 to 39.7%. Other tree species are much less common, including pedunculate oak (abundance from 1.3% to 12.8%). On clear cut areas the total amount of self-seeding and undergrowth varies from 175.6-275.3 units/ha at the beginning of the vegetation period of 2020 to 299.4 thousand pieces/ha at the end of that vegetation period, and a year later, in autumn 2021 it reached 461.2 thousand pieces/ha. Hornbeam also had the highest abundance rate - 97.3-98.1%, followed by pedunculate oak (43.5-77.3%), birch (42.6-52.7%) and pine (29.6-34.0%). Other tree species, such as lime, willow, sycamore, beech, elm, aspen, and others, had a frequency of 0.7 to 20%. In general, in all the studied areas, the composition of self-seeding and undergrowth was dominated by a small fraction up to 20 cm in height. To ensure the advantage of pedunculate oak in the naturally formed young stands in all areas it is necessary to carry out silvicultural treatments such as cleaning or precommercial thinning.

Key words: natural regeneration; pedunculate oak; Ukrainian Roztochia; oak-pine forest; forest ecology, silviculture.

СУКЦЕСІЙНІ ПРОЦЕСИ У ЖИВОМУ НАДГРУНТОВОМУ ПОКРИВІ НЕЗІМКНУТИХ ЛІСОВИХ КУЛЬТУР ДУБА ЗВИЧАЙНОГО В УМОВАХ ВОЛОГИХ СУГРУДІВ ЖИТОМИРСЬКОГО ПОЛІССЯ

Після проведення суцільних рубок дубових деревостанів і створення на зрубках лісових культур, в умовах вологого сугруду Житомирського Полісся формуються динамічні, мозаїчні рослинні угруповання, що складаються із залишків лісових видів та лучних і рудеральних рослин, які заселилися після вирубування деревостану. На однорічних зрубках видова насиченість трав'яно-чагарничкового ярусу (83 види) значно вища, порівняно зі зрубками у свіжому сугруді (50 видів). На дворічних зрубках рослинні угруповання подібні за видовим складом до рослинності однорічних зрубів. З флористичного складу угруповань зникає частина лісових видів, зокрема: конвалія звичайна (*Convallaria majalis* L.), підмаренник проміжний (*Galium intermedium* Schult), купина запашна (*Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce), звіробій плямистий (*Hypericum maculatum* Crantz) та інші, внаслідок чого флористична насиченість угруповання зменшується до 64 видів. Проективне покриття лісових видів, що зберігаються, суттєво зменшується, а провідну роль у формуванні травостою продовжують відігравати рудеральні, інвазійні та лучні види. На трирічних зрубках з флористичного складу ценозу продовжують випадати типові лісові види, зокрема орляк звичайний (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn), костяниця (*Rubus saxatilis* L.), куничник очеретяний (*Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth.), круціата гола (*Cruciata glabra* (L.) Ehrend.) та інші. Частина лісових видів відновлюється під наметом куртин підліску та підросту. У трирічних рослинних угрупованнях значну роль відіграють рудеральні види, зокрема: жабрій звичайний (*Galeopsis tetrahit* L.) та двогубий (*Galeopsis bifida* Boenn.), гірчак малий (*Persicaria minor* (Huds.) Opiz), злинка канадська (*Erigeron canadensis* L.) та інші, проективне покриття яких поступово зменшується. У семи-десяти-річних лісових культурах дуба в умовах вологого сугруду зімкнутість крон деревостану, як і у свіжих умовах, становить 0,80–0,85, але породний склад першого ярусу значно багатший. Підлісок за флористичним складом і ценотичною будовою також є подібним до підліску 120-річних ценозів. Його зімкнутість, як правило, становить 0,50. У трав'яно-чагарничковому ярусі зростає видова насиченість (до 61 виду). Випадають світлолюбні рудеральні види, появляється низка типових лісових рослин, завершується відновлення ценотичної будови фітоценозу. Характерною рисою живого надземного покриття в умовах вологого сугруду, порівняно зі свіжим сугрудом, є наявність болотних рослин, які появляються уже у перший рік, внаслідок освітлення поверхні ґрунту і підвищення його вологості, і зростають надалі в усіх вікових групах, включаючи десятирічні насадження.

Ключові слова: *Quercus robur* L.; деревостани; зруби; вологий сугруд; трав'яно-чагарничковий ярус; флористичний склад.

¹ Іванюк Ігор Дмитрович – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, директор Малинського лісотехнічного коледжу, представник Колективного члена ЛАН України. 11643, с. Гамарня Малинського району Житомирської обл., Україна. Тел.: +38-041-336-85-13. E-mail: mltk-1927@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4969-8783>

² Фучило Ярослав Дмитрович – академік Лісівничої академії наук України, доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри лісівництва та захисту лісу Малинського фахового коледжу, с. Гамарня Коростенського району Житомирської обл., 11645, Україна. Тел.: +38-067-605-91-41. E-mail: fuchylo_yar@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2669-5176>

³ Іванюк Тетяна Миколаївна – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри експлуатації лісових ресурсів та деревообробних технологій. Житомирський національний агроекологічний університет, бульвар Старий, 7, м. Житомир, 10008, Україна. Тел.: 067-772-12-04. E-mail: i.tanyal503@gmail.com ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6171-4064>

Актуальність. Лісові біоценози – це складний природний комплекс, до якого, окрім основного компоненту – деревостану, входить ще ціла низка тісно пов'язаних один з одним компонентів, які існують і розвиваються паралельно, впливаючи один на одного і на довкілля. Серед компонентів лісових біоценозів одним з найважливіших є трав'яно-чагарничковий ярус, або живий надґрунтовий покрив. Він відіграє суттєву роль у сукцесійних і ценотичних процесах, що відбуваються у лісових насадженнях і слугує індикатором їх стану та стійкості до дії негативних чинників. У лісовому господарстві Полісся України переважають суцільні рубки головного користування, з наступним обробітком ґрунту і створенням лісових культур [20, **Помилка! Джерело посилання не знайдено.**, 23]. Таким чином забезпечується вирощування високопродуктивних деревостанів цінних порід, у тому числі – дуба звичайного. З іншого боку, після проведення лісокультурних операцій суттєво порушуються поверхня ґрунту і рослинний покрив [5, 12]. Дослідження сукцесійних процесів у живому надґрунтовому покриві дубових насаджень дозволяють визначати екологічні параметри лісорослинних умов та прогнозувати їх зміни протягом усього циклу вирощування таких насаджень, а такі дослідження в незімкнених лісових культурах дуба звичайного можуть слугувати підґрунтям для оцінки можливості збереження біорізноманіття і розроблення ефективних заходів зі сталого використання лісових ресурсів.

Мета дослідження – встановити закономірності відновлення фіторізноманіття в незімкнутих лісових культурах на зрубках дубових насаджень у вологих сугрудах Житомирського Полісся України.

Об'єкт дослідження – динаміка видового складу живого надґрунтового покриву в незімкнених лісових культурах дуба звичайного в умовах вологих сугрудів Житомирського Полісся.

Предмет дослідження – видовий склад живого надґрунтового покриву зрубів, незімкнених культур дуба звичайного.

Аналіз літературних джерел. Дослідженню особливостей функціонування і розвитку живого надґрунтового покриву лісових насаджень різних ґрунтово-кліматичних умов присвячено низку опублікованих статей і монографій як вітчизняних, так і закордонних вчених. Зокрема дослідження канадських вчених довели важливу роль живого надґрунтового покриву, зважаючи на те, що саме його видовий склад і проективне покриття визначають напрям та динаміку вторинних змін рослинності та рух елементів живлення після суцільних рубок, лісових пожеж та інших причин, внаслідок яких зникає деревостан. Ними встановлено, що за таких умов фіторізноманіття зростає у перші три роки і вертається до первинного стану приблизно за 40 років [21].

Встановлено, що у чорницево-зеленомохових сосняках Литви після суцільних рубань відбуваються суттєві зміни у співвідношеннях видів, що належать до різних життєвих форм, так на одно-дворічних зрубках участь трав'яних багаторічників та чагарничків у трав'яно-чагарничковому ярусі зменшується, а одно-дворічників – зростає [20]. Схожі висновки зроблено також для хвойних лісів Фінляндії [24]. Для ялиників чорничевих північної тайги Росії вказується [3], що рослини надґрунтового покриву, після проведення суцільних рубок деревостанів, відрізняються стратегіями розвитку: в частини з них проективне покриття на зрубках знижуються (ортилія однобока, квасениця звичайна, чорниця звичайна та ін-

ші), а в інших (перестріч лучний, хамерій вузьколистий, брусниця звичайна та інші) названі показники зростають.

Акцентується увага на тому, що в після суцільних рубок, дуже порушується ґрунтовий покрив і спостерігаються різноманітні демутаційні сукцесії ґрунтів, які спричинюють значний вплив на якісний і кількісний склад рослинного покриву зрубів та лісових культур, що і на них зростають [4]. Дослідження українських учених у соснових і дубових лісах Центрального Полісся [5, 14] показали, що значне зростання кількості видів відзначається на 2-річних зрубках (до 70 видів на 1 га), в основному за рахунок рудеральних та лучних видів. У свіжій грабовій діброві Лісостепу України [10] встановлено, що після суцільної рубки дубових деревостанів, у перші роки теж суттєво зростає видове розмаїття за рахунок лучних та рудеральних видів, але кількість лісових рослин при цьому не зменшується, але значно знижується їх життєвість і проективне покриття.

Отже, для дубових лісів різних кліматичних зон, після суцільних рубок характерне випадання з надґрунтового покриву значної кількості сільвантів та поява світлолюбних рудеральних та лучних видів, які конкурують з молодими рослинами дуба звичайного у боротьбі за елементи живлення і вологу, тому метою наших досліджень було вивчення динаміки фіторізноманіття в незімкнутих лісових культурах на зрубках дубових насаджень в умовах вологих сугрудів Житомирського Полісся України.

Завдання досліджень: оцінити вплив рубань головного користування на видовий склад рослин живого надґрунтового покриву та динаміку фіторізноманіття травино-чагарничкового ярусу до переведення лісових культур у категорію вкритих лісовою рослинністю земель.

Матеріали та методи досліджень. Для дослідження динаміки фіторізноманіття після проведення суцільних рубок стиглих дубових деревостанів і до зімкнення лісових культур у державних лісгосподарських підприємствах Житомирської області було закладено 18 пробних площ. Дослідження проводили за загальноприйнятими у геоботаніці методиками [2, 7, 15]. Пробні площі закладали за методикою А. А. Юнатова [19], флористичний склад трав'яно-чагарничкового ярусу вивчали за методикою А. А. Корчагіна [6], динаміку рослинності після проведення РГК – за В. Д. Александровою [1]. Розподіл видів на еколого-ценотичні групи видів проводили за С.М. Панченком [11], при цьому виділяли такі групи рослинності: лісову, узлісну, лучну, болотну та рудеральну. Класифікацію життєвих форм видів подано за І.Г. Серебряковим [13] та за «Визначником вищих рослин України» [9]. Українські та латинські назви судинних рослин наведено за Визначником вищих рослин України [9].

Результати досліджень та їх обговорення. У вологих сугрудах Житомирського Полісся субклімаксовими фітоценозами є дубові ліси крушиново-трясучковидноосокові (*Quercetum (roboris) franguloso (alni) caricosum (brizoides)*) у віці 120 років. Їх деревостан, як правило, одноярусний, складається з дуба звичайного (*Quercus robur* L.), як домішка трапляються клен гостролистий (*Acer platanoides* L.), осика (*Populus tremula* L.), береза повисла (*Betula pendula* Roth.). Іноді формується негустий другий ярус переважно із граба звичайного (*Carpinus betulus* L.), одиночно трапляються дерева третьої величини – яблуня лісова (*Malus sylvestris* L.), груша звичайна (*Pyrus communis* L.). Підлісок у таких ценозах зімкнути-

стю 0,5–0,6, складається переважно з крушини ламкої (0,3–0,4), постійним видом є горобина звичайна, як незначна домішка зустрічаються малина звичайна (*Rubus idaeus* L.) та ожина ведмежа (*Rubus nessensis* W. Hall.). Підріст деревних порід поодинокий, в ньому зустрічаються окремі 3–5–10-річні екземпляри дуба звичайного, осики, яблуні лісової тощо [5].

Трав'яно-чагарничковий ярус густий, рівномірний, з проективним покриттям 85-90 %. Домінує в ньому осока трясучковидна (*Carex brizoides* L.) (65–70 %). Постійними видами, які характеризуються значною участю у створенні цього ярусу, є: орляк звичайний (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn) – 5 %, конвалія звичайна (*Convallaria majalis* L.) – 5 %, підмаренник проміжний (*Galium intermedium* Schult.) – 5 %, перестріч дібровний (*Melampyrum nemorosum* L.) – 1 %, суниці лісові (*Fragaria vesca* L.) – 1 %, перлівка поникла (*Melica nutans* L.) – 1 %. Як асектатори трапляються інші типові лісові види – зірочник лісовий (*Stellaria holostea* L.), ожика волосиста (*Luzula pilosa* L.), наперстянка великоквіткова (*Digitalis grandiflora* Mill.), фіалка Рейхенбаха (*Viola reichenbachiana* Jord. ex Boireau.), купина запашна (*Polygonatum odoratum* (Mill.) Druse), дзвоники кропиволисті (*Campanula trachelium* L.) та інші (табл. 1)].

Таблиця 1. Видовий склад трав'яно-чагарничкового ярусу лісових культур дуба звичайного в умовах вологого сугруду

Трав'яно-чагарничковий ярус	Деревостан до РГК, вік 120 років			Вік лісових культур дуба звичайного														
				1			2			3			7			10		
№ опису	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Видова назва рослин:																		
Лісова рослинність:																		
Carex brizoides	60	65	70	10	15	10	3	3	1	3	5	3	65	75	60	60	70	65
Anemone nemorosa	40	45	50													+	+	+
Phalacroloma septentrionalis				1	3	5	7	5	5	3	3	3	+					
Pteridium aquilinum	3	5	5	5	5	3	1	1	1	1		1	3	5	5	3	5	5
Convallaria majalis	5	5	5	+	1	1	+									+	+	+
Molinia caerulea	1			1	3	3	1	3	1	5	5	5	3	3	1	1	3	3
Stellaria holostea			+	1	3	3	1	+	+	+	+	+	1	1	+	1	1	1
Fragaria vesca	1	1	1				+	+	+	+	+	+	+	+	+	1	1	1
Calamagrostis arundinacea					+	+	+	+	+				+	+		+	1	+
Calamagrostis epigeios				+	+	+		+	+	1	5	3	1	1	1	+	+	
Luzula pilosa		+	+		+		+	+	+	+	+	+	+	+		+	1	+
Veronica officinalis				+	+	+	+	+	+		+	+	+					
Cruciata glabra	+	+	+		+		+	+	+								+	+
Melampyrum nemorosum	+	+	+		1	1	+	+	+	+	1					1	3	1
Scrophularia nodosa					+	+	+				+	+					+	+
Ajuga reptans		+		+	+	+	+	+	+		+	+				+	+	
Polygonatum odoratum			+							+	+	+		+	+		+	+
Melica nutans	+		1							+				+		+	+	+
Clinopodium vulgare	+		+				+	+	+	+	+						+	+
Rubus saxatilis					+	+	+	+					+	+	+	+	+	
Trientalis europaea		+		+												+	+	+
Milium effusum	+											+						
Viola odorata			+	+									+	+	+	+	+	
Lathyrus niger	+		+				+			+	+					+	+	+
Galium intermedium			5		+													
Viola reichenbachiana		+	+		+		+					+	+	+	+		+	+
Betonica officinalis	+	+	+	+	+	+				+	+		+	+	+	+	+	+

<i>Campanula persicifolia</i>	+		+	+	+		+	+	+							+	+	+
<i>Vaccinium myrtillus</i>		+														+	+	+
<i>Origanum vulgare</i>							+	+									+	+
<i>Hypericum maculatum</i>			+													+	+	
<i>Hypericum montanum</i>			+														+	+
<i>Maianthemum bifolium</i>	+											+						
<i>Dryopteris carthusiana</i>	+																+	
<i>Melittis sarmatica</i>					+												+	
<i>Digitalis grandiflora</i>		+	+											+	+		+	
<i>Moehringia trinervia</i>				+	+		+		+							+	+	+
<i>Brachypodium sylvaticum</i>					+					+	1					+	1	1
<i>Carex pilosa</i>				+	+											+	+	+
<i>Carex sylvatica</i>					+	+											+	
<i>Potentilla erecta</i>				+	+			+										
<i>Campanula trachelium</i>			+		+													
<i>Carex montana</i>												+						
<i>Epipactis helleborine</i>			+															
<i>Festuca gigantea</i>																	+	
<i>Thalictrum aquilegifolium</i>			+															
<i>Laserpitium latifolium</i>					+													
<i>Lilium martagon</i>			+															
Лучна рослинність																		
<i>Agrostis vinealis</i>				3	5	5	5	5	+	7	8	8		3	3			
<i>Linaria vulgaris</i>				+	+	+	+	1	+	+	1	+						
<i>Luzula pallescens</i>				+	+	+		1	+		1	+				+	+	+
<i>Stellaria graminea</i>				+	+	+	+	+	+	+	1	+						
<i>Holcus mollis</i>				+	+						1	+						
<i>Plantago major</i>				+	+			1	+									
<i>Carex hirta</i>				+	+	+							+	+	+	+	+	+
<i>Festuca multiflora</i>					+	+	+	+				+				+		
<i>Vicia sepium</i>			+							+	+							
<i>Deschampsia caespitosa</i>			+				+	+	+									
<i>Taraxacum officinale</i>				+	+	+	+	+	+		+	+						
<i>Verbascum lychnitis</i>						+	+			+		+		+				
<i>Melandrium album</i>					+		+	+										
<i>Stellaria alsine</i>					+				+		+							
<i>Gnaphalium sylvaticum</i>					+			+		+								
<i>Saponaria officinalis</i>					+		+											
<i>Festuca ovina</i>					+													
Узлісна рослинність																		
<i>Chamerion angustifolium</i>				+	1	+	3	5	5	+	1	+	+	+	+	+	+	+
<i>Veronica chamaedrys</i>		+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1	1	1
<i>Hypericum perforatum</i>					+		+	+	+	+	1		+	+			+	
<i>Hylotelephium maximum</i>					+		+	+	+		+	+		+	+		+	
<i>Carex pallescens</i>					+		+	+	+	+	+	+	+			+		
<i>Hieracium umbellatum</i>					+						+	+				+	+	+
<i>Angelica sylvestris</i>					+													
Болотна рослинність																		
<i>Bidens frondosa</i>				1	3	1	3	5	3	3	3	1				+	1	
<i>Lysimachia vulgaris</i>	+		+		1		+	1	1	+	+			+	+	+	+	+
<i>Persicaria hydropiper</i>				+	+	+	+	1	+	+	+					+	+	+
<i>Juncus effusus</i>				+	+	+				+	1	+	+	+	+		+	+
<i>Juncus conglomeratus</i>					+	+		+					+	+	+			

Рудеральна рослинність																		
<i>Erigeron canadensis</i>				3	5	5	8	10	7	8	10	10						
<i>Galeopsis tetrahit</i>				7	5	5	7	8	7	5	3	3	+	+	+			
<i>Erechtites hieracifolia</i>				5	5	7	7	8	5	+	+							
<i>Stellaria media</i>				+	+		+	1		1	3	+		+	+			
<i>Persicaria minor</i>				+	3	+	5	5	1	+	1	+					+	
<i>Galeopsis bifida</i>				+	+	1	1	+	+	1	3	3	3	3	3	1	+	+
<i>Elytrigia repens</i>					+	+	+	1	+	+	1	1					+	
<i>Lactuca serriola</i>					+	+		1	+	+	1							
<i>Cirsium arvense</i>				+	+	+		3	+		+	+						
<i>Urtica dioica</i>				+	+	+	+	+	+	+	+			+				
<i>Xanthoxalis stricta</i>				+	+	+		+	+					+	+			
<i>Sonchus arvensis</i>					+		+	+	+		+	+						
<i>Anthriscus sylvestris</i>					+			+			1					+	+	
<i>Polygonum aviculare</i>				+	+	+	+	1										
<i>Cirsium vulgare</i>					+			+			+							
<i>Fallopia convolvulus</i>					+								+					
<i>Oenothera villosa</i>					+			+										
Кількість видів	31	31	39	50	83	51	60	64	56	49	54	48	36	41	37	53	61	55
Проективне вкриття, %	80	85	90	55	50	50	55	60	55	50	50	45	80	90	80	80	85	85

Фітоценоз характеризується сформованою ценотичною будовою, в ньому чітко виявляються яруси деревостану, підліску, підросту деревних порід, а також три під'яруси трав'яно-чагарничкового ярусу. Крім того, у досліджуваному ценозі сформувалася синузальна структура, зокрема, в квітні–травні у ньому проявляється синузія весняних ефемероїдів, яка має проективне покриття 35–50 % і складається з анемони дібрової.

Видова насиченість фітоценозу становила 39 видів, зокрема, зростали занесені до «Червоної книги України» лілія лісова (*Lilium martagon* L.) та коручка морозниковидна (*Epipactis helleborine* (L.) Crantz) [16].

Після проведення суцільних рубок головного користування у фітоценозах вологих сугрудів відбуваються кардинальні зміни. Визначальним екологічним фактором є видалення едифікаторного ярусу лісу – деревостану, а також значної частини підліску та підросту. Внаслідок цього повністю освітлюються нижні яруси лісової рослинності, що кардинально впливає на формування рослинного покриву зрубів. Суттєва перебудова на однорічних зрубках відбувається у підліску: його проективне покриття зменшується у 3–4 рази, основу ярусу формує – зіновать руська (світлолюбний вид), а типові лісові види чагарників, крушина ламка, горобина звичайна залишаються лише поодинокими екземплярами.

Зімкнутість підросту зменшується також у 3–4 рази (до 0,1) порівняно із субклімаксовими фітоценозами, його основу створюють дуб звичайний, осика та береза повисла, зустрічаються сосна звичайна, береза пухнаста, алича, яблуня лісова [5]. Крім того, відбувається часткове порушення лісової підстилки, її перемішування з верхніми шарами ґрунту та занесення насіння рудеральних видів. У результаті, в перший рік після суцільної рубки, утворюються динамічні трав'яні угруповання із залишками підліску, підросту деревних порід, а також світлолюбних видів трав'яно-чагарничкового ярусу материнського фітоценозу.

На однорічних зрубках в умовах вологого сугруду видова насиченість трав'яно-чагарничкового ярусу значно вища, порівняно зі зрубками у свіжому сугруді – 83 проти 50 видів. З лісових видів у перший рік після суцільної рубки ще зберігаються такі типові лісові види, як: осока трясучковидна – 15 %, орляк звичайний – 1 % та одиночно – кунічник очеретяний, ожика волосиста, круціата гола, зірочник лісовий та інші.

Внаслідок масованого занесення насіння у досліджуваному угрупованні різко зростає кількість рудеральних видів, таких як: жабрій звичайний – 5 %, гірчак малий – 3 %, а також інвазійні адвентивні північноамериканські види: злинка канадська – 5 %, череда листяна – 3 %, фалакролома північна – 3 % та еректитес нечуйвітровий – 5 %.

На масову появу на зрубках адвентивних інвазійних рудеральних видів вказували також інші дослідники [17, 22, 23]. Повне освітлення поверхні також сприяє розростанню світлолюбних лучних видів, таких, як: живучка повзуча, зірочник злаковидний, костриця багатоквіткова, ожика багатоквіткова, шовкова трава м'яка, кульбаба лікарська, льоник звичайний, енотера опушена тощо. а характерною рисою згаданих рослинних угруповань є повне знищення ценотичної структури, притаманної вихідним лісовим фітоценозам. Зокрема, відсутня ярусна будова, як і синюзія весняних ефемероїдів. У більшості випадків, на практиці, вже у перший рік після суцільної рубки головного користування у сугрудах створюються лісові культури. Для цього проводять обробіток ґрунту, як правило, плугом ПКЛ-70 нарізають борозни, в які висаджують сіянці, у процесі чого частина лісових видів зникає, а кількість рудеральних видів збільшується.

На дворічних зрубках, де вже створені лісові культури дуба звичайного, формуються динамічні рослинні угруповання, досить подібні за видовим складом до рослинності однорічних зрубів. На них зберігаються поодинокі біогрупи підліску та підросту деревних порід. З флористичного складу угруповань зникає частина лісових видів, зокрема: конвалія звичайна, підмаренник проміжний (*Galium intermedium* Schult), купина запашна (*Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce), звіробій плямистий (*Hypericum maculatum* Crantz), звіробій гірський (*Hypericum montanum* L.), перлівка поникла (*Melica nutans* L.), фіалка запашна (*Viola odorata* L.), фіалка Рейхенбаха, ранник вузлуватий (*Scrophularia nodosa* L.) та інші, внаслідок чого флористична насиченість угруповання зменшується до 64 видів.

Інша частина лісових видів суттєво зменшує проективне покриття: осока трясучковидна – з 15 % до 3 %, орляк звичайний – з 5 % до 1 %. Провідну роль у формуванні травостою продовжують відігравати рудеральні види, проективне покриття яких збільшується: жабрій звичайний – до 8 %, гірчак малий – до 5 %, осот польовий – до 3 %, гірчак перцевий, латук списовидний та зірочник середній – до 1 %, а інвазійні види – злинка канадська, череда листяна, фалакролома північна та еректитес нечуйвітровий мають сумарне проективне покриття близько 30 %. На досліджуваних ділянках також збільшується проективне покриття лучних видів: ожики багатоквіткової – 1 %, льонка звичайного – 1 %, хамерію вузьколистого – 5 % тощо. Як і на 1-річних зрубках, у 2-річних рослинних угрупованнях ценотична будова (ярусна та синюзіальна) відсутня.

На трирічних зрубках вологих сугрудів зберігаються окремі невеликі куртини підліску, які формують крушина ламка, горобина звичайна, малина звичайна, а

також підросту дуба звичайного, осики, яблуні лісової, граба звичайного, берези повислої тощо. З флористичного складу ценозу продовжують випадати типові лісові види, зокрема орляк звичайний, костяниця, куничник очеретяний, круціата гола. Частина лісових видів відновлюється під наметом куртин підліску та підросту. Це зокрема: купина запашна, буквиця лікарська, куцоніжка лісова, ранник вузлуватий, чина чорна тощо. У 3-річних рослинних угрупованнях значну роль відіграють рудеральні види, зокрема: жабрій звичайний та двогубий, гірчак малий, злинка канадська, череда листяна та інші, проективне покриття яких поступово зменшується.

У семи-десяти-річних лісових культурах дуба в умовах вологого сугруду зімкнутість крон деревостану, як і у свіжих умовах, становить 0,80–0,85, але породний склад першого ярусу значно багатший. До його складу входять практично усі види, характерні для субклімаксових 120-річних фітоценозів: дуб звичайний, осика, береза повисла, клен гостролистий, граб звичайний та інші. Підлісок за флористичним складом і ценотичною будовою також є подібним до 120-річних ценозів. Його зімкнутість, як правило, дорівнює 0,50, він складається з типових видів: крушини ламкої – 0,30; горобини звичайної – 0,10; ожини ведмежої – 0,10 тощо. У трав'яно-чагарничковому ярусі на 48,8 %, порівняно з трирічними зрубамі, збільшується видова насиченість (61 вид). Випадають світлолюбні рудеральні види, появляється низка типових лісових рослин, завершується відновлення ценотичної будови фітоценозу.

Характерною рисою живого надземного покриву в умовах вологого сугруду, порівняно зі свіжим сугрудом, є наявність ценотичної групи болотних рослин. У субкліматичних насадженнях дана група представлена лише одним видом – вербозіллям звичайним (*Lysimachia vulgaris* L.), а після видалення деревостану, внаслідок освітлення поверхні ґрунту і підвищення його вологості, появляється ще кілька гідрофільних видів, зокрема: череда листяна (*Bidens frondosa* L.), гірчак перцевий (*Persicaria hydropiper* (L.) Delarbre), ситник розлогий (*Juncus effuses* L.) та ситник скупчений (*Juncus conglomeratus* L.), які трапляються надалі у всіх вікових групах, включаючи десятирічні насадження.

Висновки.

У вологих сугрудах Житомирського Полісся після проведення суцільних рубок головного користування і створення лісових культур, на зрубках дубових деревостанів формуються динамічні, мозаїчні рослинні угруповання, що складаються із залишків лісових видів та лучних і рудеральних рослин, які заселилися після вирубування деревостану. На однорічних зрубках видова насиченість трав'яно-чагарничкового ярусу (83 види) значно вища, порівняно зі зрубками у свіжому сугруді (50 видів).

На дворічних зрубках рослинні угруповання подібні за видовим складом до рослинності однорічних зрубів. З флористичного складу угруповань зникає частина лісових видів, внаслідок чого флористична насиченість угруповання зменшується до 64 видів.

Проективне покриття лісових видів, що зберігаються, суттєво зменшується, а провідну роль у формуванні травостою продовжують відігравати рудеральні, інвазійні та лучні види. На трирічних зрубках з флористичного складу ценозу продовжують випадати типові лісові види. Частина лісових видів відновлюється під на-

метом куртин підліску та підросту. 3-річних рослинних угрупованнях значну роль відіграють рудеральні види, зокрема: жабрій звичайний та двогубий, гірчак малий, злинка канадська, череда листяна та інші, проективне покриття яких поступово зменшується.

У семи- десяти-річних лісових культурах дуба в умовах вологого сугруду зімкнутість крон деревостану, як і у свіжих умовах, становить 0,80–0,85, але породний склад першого ярусу значно багатший. Підлісок за флористичним складом і ценотичною будовою також є подібним до підліску 120-річних ценозів. Його зімкнутість, як правило, становить 0,50. У трав'яно-чагарничковому ярусі зростає видова насиченість (до 61 виду). Випадають світлолюбні рудеральні види, появляється низка типових лісових рослин, завершується відновлення ценотичної будови фітоценозу.

Характерною рисою живого надземного покриву в умовах вологого сугруду, порівняно зі свіжим сугрудом, є наявність болотних рослин, які появляються уже у перший рік внаслідок освітлення поверхні ґрунту і підвищення його вологості і зростають надалі в усіх вікових групах, включаючи десятирічні насадження.

References

1. **Alexandrova, V.D.**, Lavrenko E.M., Korchagin, A.A. (1964). . Изучение смен растительного покрова / *Izuchenie smen rastitel'nogo pokrova* [Study of changes in vegetation cover]. Field geobotany. Moscow-Leningrad: Sciences. Vol. III: 300-447 (in Rushian).
2. **Walter, G.** (1982). Общая геоботаника / *Obshchaya geobotanika* [General geobotany]. Moscow: Peace (in Rushian).
3. **Genikova, N.V., Toropova, E.V., Kryshen, A.M.** (2016). Реакция видов напочвенного покрова ельника черничного на рубку древостоя / *Reakciya vidov napochvennogo pokrova el'nika chernichnogo na rubku drevostoya* [Response of species of the ground cover of blueberry spruce forests for cutting the stand]. Proceedings of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 4: 92-99. Retrieved from <http://www.krc.karelia.ru/publ.php?id=14215&plang=r> (in Rushian).
4. **Dymov, A.A.** (2017). Влияние сплошных рубок в бореальных лесах России на почвы / *Vliyanie sploshnyh rubok v boreal'nyh lesah Rossii na pochvy (obzor)*. [Influence of clear cuttings in boreal forests of Russia on soils (review)]. Soil science. 7: 787–798 (in Rushian).
5. **Ivanyuk, I., Fuchylo, Y.** (2020). Сукцесія рослинності зрубів після проведення суцільних рубок дубових насаджень в умовах Західного та Центрального Полісся України / *Suktsesiia roslinnosti zrubiv pislia provedennia sutsilnykh rubok dubovykh nasadzhen v umovakh Zakhidnoho ta Tsentralnoho Polissia Ukrainy*. [Vegetation succession after clearcutting in oak forest stands in the conditions of the Western and Central Polissya of Ukraine]. Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Vol. 21 : 39-49. <https://doi.org/10.15421/412024> (in Ukrainian).
6. **Korchagin, A. A., Lavrenko, E.M.** (1964). Видовой (флористический) состав растительных сообществ и методы его изучения / *Vidovoj (floristicheskij) sostav rastitel'nyh soobshchestv i metody ego izucheniya*. [Species (floristic) composition of plant communities and methods of its study. Field geobotany Moscow-Leningrad: Science, 39-59. Retrieved from https://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=438841&razdel (in Rushian).
7. **Lavrenko, E.M., Korchagin, A.A.** (1959). Основные закономерности растительных сообществ и пути их изучения / *Osnovnye zakonomernosti rastitel'nyh soobshchestv i puti ih izucheniya* [Basic patterns of plant communities and ways to study them.]. Field Geobotany. Moscow-Leningrad: Nauka, 13–70. (in Rushian).
8. **Odum, Y.** (1986). Экология / *Ekologiya* [Ecology]. Moscow: Peace. 376 p. Retrieved from <https://may.alleng.org/d/ecol/ecol13.htm> (in Rushian).
9. **Dobrochaeva, D.N., Kotov, M.I., Prokudin, Yu.N., Barbarych, A.I.** (1999). Определитель

- высших растений Украины / *Opredelitel' vysshih rastenij Ukrainy* [Keys to higher plants of Ukraine]. Kyiv: Phytosociocenter. 548 p. Retrieved from https://www.studmed.ru/dobrochaeva-dn-kotov-mi-i-dr-opredelitel-vysshih-rasteniy-ukrainy_5486cecd9db.html (in Russian).
10. **Ostapchuk, O.S., Maurer, V.M., Sovakov, O.V.** (2013). Живий надґрунтовий покрив на зрубках в умовах свіжої грабової діброви південного Лісостепу України / *Zhyvyi nadgruntovyi pokryv na zrubakh v umovakh svizhoi hrabovoi dibrovy pivdennoho Lisostepu* [Living above-ground cover on fellings in the conditions of fresh hornbeam grove of the southern Forest-steppe of Ukraine]. Ukrainian journal of forest and wood science, 187(1): 283-289. Retrieved from <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Lisivnytstvo/article/view/904> (in Ukrainian).
11. **Panchenko, S.M.** (2005). Флора національного природного парку «Деснянсько-Старогутський» та проблеми охорони фіторізноманіття Новгород-Сіверського Полісся / *Flora natsionalnoho pryrodnoho parku «Desniansko-Starohutskiyi» ta problemy okhorony fitoriznomanittia Novhorod-Siverskoho Polissia* [Flora of the National Natural Park "Desnyansko-Starogutskiy" and the problems of protecting the fluorescent society Novgorod-Siverskiy Polissya]. Sumy: Universitet book. 170 p. Retrieved from http://ashipunov.info/shipunov/school/books/panchenko2013_lesn_rastit_npr_desn-star.pdf. (in Ukrainian).
12. **Parpan, V.I., Viter, R.M., Parpan, T.V. & Tselen, J.P.** (2003). . Екологічна сукцесія трав'яного вкриття на зрубках в рівнинних букових лісах України / *Ekolohichna suksesiia travianoho vkryttia na zrubakh v rivnyynykh bukovykh lisakh Ukrainy*. [Ecological succession of grass cover on fellings in plain beech forests of Ukraine] *Scientific Bulletin of UNFU*, 13(3): 135-142. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2003/13_3/index2.htm (in Ukrainian).
13. **Serebryakov, I.G.** (1969). Экологическая морфология растений. Жизненные формы покрытосеменных и хвойных / *Ekologicheskaya morfologiya rastenij. Ziznennyye formy pokrytosemennyh i hvoynyh*. [Ecological morphology of plants. Life forms of angiosperms and conifers]. Leningrad: Science, 275 p. (in Russian).
14. **Siruk, Yu.V., Turko, V.M.** (2010). Фітоіндикаційний аналіз ґрунтових і кліматичних параметрів зрубів різних типів у суборах Центрального Полісся / *Kharakterystyka lisovidnovnoho protsesu na shtuchno vidtvorenykh zrubakh u svizhykh ta volohykh suborakh Tsentralnoho Polissia*. [Description of reforestation process on the artificially renewed cutovers in fresh and wet suborian conditions in the Central Polissya]. *Scientific Bulletin of UNFU*, 20(6): 57-64. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2010/20_6/index.htm (in Ukrainian).
15. **Tikhomirov, V.N.** (2006). Геоботаника / *Geobotanika* [Geobotany]. Minsk: Belarusian State University (in Russian).
16. **Didukh, K.** (2009). Червона книга України. Рослинний світ / *Chervona kny`ga Ukrayiny`*. *Flora*. [Red Book of Ukraine. Flora]. Kyiv: Globalconsulting, 911 p. (in Ukrainian).
17. **Shirokikh, P.S., Martynenko, V.B., Baisheva, E.Z. & Bikvaev, I.G.** (2018). Динамика растительности на вырубках южно-уральского региона: основные итоги исследований Уфимской геоботанической школы / *Dinamika rastitel'nosti na vyrubkah yuzhno-ural'skogo regiona: osnovnyye itogi issledovaniy Ufimskoj geobotanicheskoy shkoly. Fitoraznoobrazie Vostochnoj Evropy*. [Dynamics of vegetation in clear-cut areas of the South Ural region: the main results of research of the Ufa geobotanical school]. *Phyto-diversity of Eastern Europe*, 12 (3): 17-30 <https://doi.org/10.24411/2072-8816-2018-10023> (in Russian).
18. **Shkudor, V.D.** (2006). Динаміка рослинного різноманіття після суцільних рубок головного користування у вологих суборах Західного Полісся / *Dynamika roslynnoho riznomanittia pislia sutsilnykh rubok holovnoho korystuvannia u volohykh suborakh Zakhidnoho Polissia*. [Dynamics of plant diversity after continuous felling of the main use in wetlands of Western Polissya]. *Forestry & Forest Melioration*, 109: 97-103 (in Ukrainian).
19. **Yunatov, A. A., Lavrenko, E.M., Korchagin, A.A.** (1964). Заложение экологических профилей и пробных площадей. Полевая геоботаника / *Zalozhenie ekologicheskikh profilej i probnyh ploshchadej. Poleyaya geobotanika* [Laying of ecological profiles and trial plots. Field Geobotany] III. Moscow-Leningrad : Nauka, 9-35 (in Russian).
20. **Cesoniene, L., Daubaras, R., Kaskonas, P. et al.** (2018). Initial impact of clear-cut logging on dynamics of understory vascular plants and pollinators in Scots pine-dominated forests in Lithuania. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 42: 433-443.

21. **Hart, S. A., Chen, H. Y.** (2018). Fire, logging, and overstory affect understory abundance, diversity, and composition in boreal forest. *Ecological Monographs*. 78: 123-140.
22. **Gilliam, F. S.** (2007). The ecological significance of the herbaceous layer in temperate forest ecosystems. *BioScience*. 57: 845-856.
23. **Luken, J. O., Gilliam, F.S., Roberts, M.R.** (2003). Invasions of forests of the eastern United States. The herbaceous layer in forests of eastern North America / New York: Oxford University Press, 283-301.
24. **Uotila, A.** (2004). Vegetation patterns in managed and semi-natural boreal forests in eastern Finland and Russian Karelia. Academic dissertation. Faculty of Forestry, University of Joensuu, 48 p.

UDC 630*2:630*18

*Assoc. prof. I.D. Ivaniuk, Doctor of Sciences;
prof. Ya.D. Fuchylo, Doctor of Sciences; assoc. prof. T.M. Ivaniuk, Ph.D.*

Succession processes in the living surface cover of unclosed forest cultures of *quercus robur* l. in wet loam conditions of Zhytomyr Polissya

Abstract. After continuous felling of oak stands and creation of forest crops on the cutting areas, dynamic, mosaic plant groups are formed in the humid conditions of Zhytomyr Polissya, consisting of remnants of forest species and meadow and ruderal plants that settled after deforestation. On cutting areas, the species saturation of the grass-shrub tier (83 species) is much higher than in fresh loam conditions (50 species). On biennial cutting areas, plant communities are similar in species composition to the vegetation of annual cutting areas. Some forest species disappear from the floristic composition of the groups, in particular: *Convallaria majalis* L., *Galium intermedium* Schult, *Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce, *Hypericum maculatum* Crantz and others, resulting in reduced floristic saturation up to 64 species. The projective cover of preserved forest species is significantly reduced, and ruderal, invasive and meadow species continue to play a leading role in grass formation. Typical forest species continue to fall on the three-year-old fellings from the floristic composition of the cenosis, in particular *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn, *Rubus saxatilis* L., *Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth., *Cruciata glabra* (L.) Ehrend.) and others. Some forest species are restored under the tent of undergrowth. In three-year-old plant communities, ruderal species play a significant role, in particular: *Galeopsis tetrahit* L., *Galeopsis bifida* Boenn., *Persicaria minor* (Huds. Opiz), *Erigeron canadensis* L. and others, the projective coverage of which is gradually decreasing. In seven-ten-year-old oak forest stands in the conditions of wet soil, the closure of the stands of the stand, as in fresh conditions, is 0.80-0.85, but the species composition of the first tier is much richer. The undergrowth in floristic composition and coenotic structure is also similar to the undergrowth of 120-year-old coenoses. Its closure is usually 0.50. Species saturation (up to 61 species) increases in the grass-shrub tier. Light-loving ruderal species fall out, a number of typical forest plants appear, and the restoration of the coenotic structure of the phytocenosis is completed. A characteristic feature of living aboveground cover in wet soil, compared to fresh soil, is the presence of wetland plants, which appear in the first year due to lightening of the soil surface and increase its humidity, and continue to grow in all age groups, including ten-year plantations.

Keywords: *Quercus robur* L.; forest stands; fellings; wet loam conditions; grass-shrub tier; species composition.

Ліс. госп-во, ліс., папер. і деревооб. пром-сть : міжвід. наук.-техн. зб. —
Львів: НЛТУ України. — 2021, вип. 47. — 120 с.

Збірник науково-технічних праць

ЛІСОВЕ ГОСПОДАРСТВО,
ЛІСОВА, ПАПЕРОВА І ДЕРЕВООБРОБНА
ПРОМИСЛОВІСТЬ

Міжвідомчий
науково-технічний збірник

виходить з 1964 р.

ВИПУСК 47

Літературний редактор : В.В. Дудок
Редагування іноземних мов : В.В. Лентяков
Комп'ютерне макетування : С.В. Гайда

Електронна версія наукового фахового видання знаходиться на депозитарному
зберіганні у Національній бібліотеці України ім. В.І. Вернадського

Підписано до друку 28.12.21. Формат 60×84/16
Папір офсетний. Гарнітура Times. Друк офсетний
Умов. друк. арк. 6,98. Умов. фарб. відб. 7,21
Наклад 250 прим. Зам. № 912/2021

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
(Серія КВ, № 11890-761ПР від 26.10.2006 р.)

Згідно з переліком №19, «Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість» належить до нау-
кових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових
ступенів доктора і кандидата технічних наук за такими напрямками:
технічні науки (Додаток до наказу Міністерства освіти і науки України від 21.12.2015 р. № 1328),
сільськогосподарські науки (Додаток до наказу Міністерства освіти і науки України від 07.10.2015 р. № 1021)

Віддруковано з готових оригіналів.
ТЗОВ «Графік Стар», вул. Володимира Великого, 2.
Тел.: +38 (032) 244 28 37, 244 46 77