

Підвищення міцності деревини автоклавним просоченням ляноюю олією

Increasing wood strength through autoclave impregnation with linseed oil

Гомон Св.Св., д.т.н., професор, Довбенко Т.О., к.т.н, доцент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне), Петренко О.В., к.т.н., ст. викладач (Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів)

Homon S.S., doctor of technical sciences, professor, Dovbenko T.O., candidate of technical sciences, associate professor, (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne), Petrenko O.V., PhD (Tech.), Senior Lecturer (Lviv Polytechnic National University, Lviv)

Наведено результати теоретичного аналізу застосування засобів та способів просочення деревини для підвищення її міцності на стиск уздовж волокон. Обґрунтовано використання імпрегнату на основі ляної олії за допомогою двостадійного способу «тиск-вакуум». Проведено експериментальні дослідження з просочення зразків сосни, берези та ялини запропонованим засобом та обґрунтованим способом. За результатами механічних випробувань на стиск вздовж волокон зразків деревини прикладанням короткочасного навантаження за жорсткого режиму визначено приріст міцності деревини, просоченої запропонованим засобом і технологією модифікації.

Wood, due to its high strength characteristics, aesthetic and other parameters, does not lose its relevance in use until now. However, due to the influence of aggressive environments, biological and atmospheric adverse factors, the characteristics and terms of effective operation of wood are reduced. For more effective use of wood, it is necessary to improve its physical and mechanical characteristics.

One of the ways to improve the physical and mechanical characteristics of wood and prolong the terms of its effective operation under the influence of aggressive environments, biological and atmospheric adverse factors is modification by impregnation with an impregnate - a substance that, penetrating into the pores of wood, improves its characteristics. Materials for impregnation - impregnates have also been studied quite widely. Substances are used for impregnation, which are classified by origin. Each group of materials for impregnation has certain inherent advantages and disadvantages. Existing methods of autoclave impregnation of wood, which ensure the maximum depth of

penetration of the impregnate and the speed of its drying (polymerization), have been analyzed. This paper presents the results of a theoretical analysis of methods and techniques for impregnating wood to enhance its compressive strength along the grain. The use of a linseed oil-based impregnating agent via a two-stage "pressure-vacuum" process is substantiated. Experimental studies were conducted on the impregnation of pine, birch, and spruce samples using the proposed agent and justified method. Based on mechanical tests of wood samples subjected to short-term compressive loads along the grain under rigid conditions, an increase in the strength of wood impregnated with the proposed agent and modification technology was determined.

Ключові слова: модифікація деревини, автоклавне просочення, лляна олія, міцність, стиск.

Keywords: wood modification, autoclave impregnation, linseed oil, strength, compression.

Вступ. Деревина завдяки високим характеристикам міцності, естетичним та іншим параметрам на втрачає актуальності у застосуванні дотепер. Проте внаслідок впливу агресивних середовищ, біологічних та атмосферних несприятливих чинників характеристики та терміни ефективної експлуатації деревини знижуються. Для більш ефективного застосування деревини необхідне покращення її фізико-механічних характеристик.

Огляд досліджень. Одним зі способів покращення фізико-механічних характеристик (ФМХ) деревини та пролонгації термінів її ефективної експлуатації в умовах дії агресивних середовищ, біологічних та атмосферних несприятливих чинників є модифікація шляхом просочення імпрегнатом – речовиною, яка, проникаючи в пори деревини, покращує її характеристики [1-3].

Такий спосіб модифікації не новий. Численна низка науковців досліджувала як матеріали для імпрегнації, так і способи просочення [1-3]. Розроблені і з успіхом використовуються технологічні регламенти та нормативні документи, як в Україні, так і в країнах Європи та США.

Матеріали для просочення – імпрегнати досліджені також доволі широко. Для просочення застосовують речовини, які класифікують за походженням. Кожна група матеріалів для просочення має певні притаманні їй переваги та недоліки [1-13].

1. **Натуральні засоби – олії.** Переваги: екологічність виготовлення, нанесення, експлуатації та утилізації. Недоліки: конкуренція сировинної бази з харчовою промисловістю, висока вартість, при застосуванні у немодифікованому вигляді – недостатньо високі показники ФМХ

покриттів, біологічної стійкості та деяких технологічних параметрів при використанні (в'язкість, глибина проникнення, швидкість полімеризації).

2. Матеріали природного та переробного походження – продукти переробки викопних речовин (нафти, кам'яного вугілля тощо), матеріалів природного походження (переробка деревини при виготовленні целюлози) та відходів виробництва (переробка автомобільних покришок, відпрацьованого мастила тощо). Переваги: низька вартість, широка сировинна база, можливість модифікації для надання бажаних технологічних та експлуатаційних характеристик. Недоліки: низька екологічність, високий вміст летких органічних речовин (ЛОР).

3. Синтетичні полімери. Переваги: широкий спектр характеристик, можливість застосування у вигляді водних дисперсій, низький вміст ЛОР. Цінова ніша та екологічність у синтетичних полімерів – середні значення поміж натуральними матеріалами та продуктами природного і переробного походження.

Вибір матеріалів певної групи проводять, керуючись основною метою. Для досягнення високих комплексних технологічних та експлуатаційних показників (глибина проникнення, ФМХ, біологічна та атмосферна стійкість, довговічність) застосовують синтетичні матеріали – акрилові, стиролакрилові, поліуретанові, епоксидні, кремнійорганічні, фенолформальдегідні та інші. При цьому дещо страждають екологічні та економічні показники. Для підвищення економічних показників (здешевлення) використовують засоби на основі природних викопних матеріалів та продуктів переробки – бітуми, асфальти, пеки та інші. При цьому знижується екологічність, окремі продукти містять канцерогени, а технологічні та експлуатаційні показники набувають середніх значень.

Світова практика застосування імпрегнатів та покриттів для деревини демонструє стабільне зростання екологічно чистих продуктів з використанням біологічних ресурсів та круговою економікою – мінімальним впливом на довкілля при виготовленні, влаштуванні, експлуатації та утилізації. Це натуральні олії: лляна, тунгова, касторова (рицинова), соєва, сафлорова, соняшникова, кокосова та інші. Вартість натуральних олій вища, ніж у синтетичних та природних матеріалів. Технологічні та експлуатаційні характеристики немодифікованих олій середні. Для покращення цих характеристик застосовують імпрегнати, у склад яких вводять крім олій добавки: для зниження в'язкості та збільшення глибини проникнення - розчинники природного походження (живичний скипидар), для пришвидшення висихання та збільшення твердості плівки – сикативи (органічні солі металів кобальту, марганцю, кальцію, цирконію, церю ін.).

Властивості просоченої деревини крім імпрегнату залежать також від технології просочення. Найпростіший спосіб – поверхневого нанесення за

допомогою пензля, валика або шляхом розпилення зазвичай не дозволяє просочити деревину на глибину понад 2...3 мм. При температурі нанесення і висихання 20°C полімеризація засобу для покриття відбувається під впливом атмосферного середовища, тому процес полімеризації може бути тривалим [11, 12]. Так відомо, що немодифікована лляна олія за нормальних умов полімеризується шляхом поверхневого висихання протягом 200...300 годин. Створення тиску або вакууму при влаштуванні покриття дозволяє суттєво збільшити глибину просочення, яка може сягати до 20 мм. Підвищення температури при просоченні дозволяє прискорити полімеризацію і підвищити якість плівки (матриці) покриття.

Мета проведеного дослідження – визначити приріст міцності деревини, просоченої запропонованим засобом із застосуванням обгрунтованого способу.

Результати досліджень. При реалізації першої групи задач (підборі імпрегнату) не виявлено єдиного засобу, який відповідав би усьому комплексу бажаних характеристик. Тому прийнято рішення, незважаючи на ускладнення технологічного регламенту, проводити просочення у два етапи із застосуванням двох типів імпрегнатів – праймерного та фінішного. При виборі імпрегнатів виходили з таких умов: речовина для фінішного модифікування окрім основних фізико-механічних, триботехнічних, органолептичних характеристик повинна мати максимально натуральне походження, мінімально виділяти ЛОР у процесі експлуатації. Такою поширеною, доступною, детально вивченою та конкурентно-спроможною речовиною є лляна олія. Деревина, просочена натуральною лляною олією, набуває високих ФМХ, термін її експлуатації значно подовжується.

При виборі матеріалу для праймерного просочення проаналізовано речовини, які при глибокій імпрегнації, надають деревині деякі характеристики, вищі, ніж при просоченні лляною олією. Так наприклад, доступна дигтярна олія (продукт перегонки кам'яновугільної смоли – побічного продукту коксування вугілля), модифікована живичним скипидаром та борною кислотою, має кращу проникність та антисептуючі властивості, незначно поступаючись міцності лляній олії. Ще одна суттєва перевага дигтярної олії – низька вартість. Недостатня екологічність дигтярної олії нівелюється тим, що під час експлуатації її контакт з навколишнім середовищем обмежує фінішний шар лляної олії.

Тому для проведення досліджень прийнято дві стадії імпрегнації: праймером – глибокопроникною антисептуючою дигтярною олією, модифікованою скипидаром та борною кислотою (2%) та фінішною натуральною лляною олією.

При реалізації другої групи задач – підборі способу просочення проаналізовано відомі автоклавні способи просочення деревини [4]:

“вакуум – тиск – вакуум” (ВТВ); “тиск – тиск – вакуум” (ТТВ); “вакуум – атмосферний тиск – вакуум” (ВАТВ); “тиск - вакуум” (ТВ);

Процес ВТВ (повного поглинання або спосіб Бетела) проводять у такій послідовності: після завантаження автоклава деревиною створюють повітряний вакуум та витримують деревиною у вакуумі; заповнюють автоклав імпрегнатом, створюють рідинний тиск та витримують деревиною в рідині під тиском; скидають тиск до значень атмосферного та зливають залишки не просоченого імпрегнату з автоклава; створюють повітряний вакуум та витримують деревиною у вакуумі; підвищують тиск до атмосферного (скидають вакуум) та розвантажують деревиною із автоклава.

Просочування імпрегнатом відбувається під час витримки деревини під тиском. Початковий вакуум покращує поглинання деревиною імпрегнату та підвищує глибину просочення завдяки видаленню повітря, яке перешкоджає руху засобу, з порожніх клітин деревини. Повторним вакуумом підсушують поверхню сортиментів. Спосіб ВТВ застосовують здебільшого для просочування деревини водорозчинними речовинами у великій кількості (загальне поглинання 50–80 кг сухої речовини на 1 м³ деревини), а також для підвищеного поглинання олійних імпрегнатів. Глибина просочення залежить від характеристик деревини та режимів процесу: глибини вакууму 0,08...0,0085 МПа (600 мм рт. ст.), тиску 0,6...1,5 МПа (6...15 бар) та температури водорозчинного імпрегнату 20...60°C (для олій 85...95°C), тривалості витримки під вакуумом 0,25...0,35 год., під тиском 0,5...0,8 год. [6].

Спосіб обмеженого поглинання ТТВ (сухий) проводять у такій послідовності: завантаження автоклава, створення повітряного тиску 0,20–0,40 МПа та витримка сортиментів протягом 0,25 год.; заповнення автоклава імпрегнуючим засобом, піднімання рідинного тиску та витримка деревини в рідині під тиском; вирівнювання тиску до атмосферного (скидання тиску); зливання імпрегнату; створення вакууму та витримка під вакуумом; скидання вакууму до атмосферного тиску та розвантаження автоклава.

Особливістю сухого способу ТТВ є попередня витримка деревини під дією надлишкового повітряного тиску, за якого в порожнини деревини потрапляє додаткове повітря, яке в кінці процесу під час витримки деревини під вакуумом 0,08 МПа протягом 0,75год. (3 рази по 0,25год.) виходить назовні, виштовхуючи також частину поглинутого імпрегнату. Спосіб ТТВ придатний для просочення деревини високотоксичними антисептиками (пентахлорфенолом та нафтенату міді), для економії просочувальних засобів та відсутності необхідності надлишку вискоєфективного імпрегнату.

Рідинний спосіб ТТВ базується на використанні вакууму 0,09 МПа (0,9 бар), який створюють в заповненому імпрегнатом автоклаві. Такий

спосіб придатний як для просочення деревини засобами для підвищення її ФМХ [5, 7-10], так і водорозчинними препаратами, наприклад хромоміднофтористим. Величина рідинного надлишкового тиску при способі ТТВ становить 1,1 МПа, тривалість витримки під тиском 1,0...1,5 год. Температуру імпрегнату підтримують на рівні точки його кипіння у вакуумі. За цих умов глибина просочення в ядрову зону сортименту збільшується в 1,5 рази порівняно з іншими багатоцикловими способами та удвічі порівняно із способом ВТВ [6]. Способи ТТВ та ВТВ тривалі та технологічно складні.

Спосіб тиск-вакуум ТВ напівобмеженого поглинання або спосіб Лаурі полягає в уведенні просочувальної рідини у деревину під надлишковим тиском 0,5...2,0 МПа протягом 0,5...1,0 год., а після зливання імпрегнату деревину витримують у вакуумі -0,08...-0,09МПа. Технологічно простий порівняно з ТТВ та ВТВ спосіб ТВ при просочуванні оліями дозволяє досягти глибокого просочення та значного поглинання за масою, проте меншого, ніж при ВТВ.

Порівняно новий вакуумний спосіб ВАТВ дозволяє використовувати автоклави (герметичні резервуари) спрощених, не розрахованих на високий тиск конструкцій. Просочувальну речовину вводять в автоклав після сухого вакуумування (глибиною 0,08–0,09 МПа протягом 0,25...0,3 год.) за дії атмосферного тиску, який є надлишковим відносно від'ємного тиску всередині деревини. Після заповнення автоклава просочувальною рідиною тиск вирівнюють до атмосферного. Просочування відбувається протягом 0,5...1,0 год. за дії атмосферного тиску. Після просочення імпрегнат зливають і повторно створюють короточасний вакуум для підсушування поверхні сортиментів. Способом ВАТВ вводять у деревину обмежену кількість просочувальної рідини на невелику глибину: 5...10 мм по заболоні, 1...2 мм по ядру.

Для проведення експериментальних досліджень при просоченні зразків деревини у два етапи (праймерний та фінішний) прийнято спосіб напівобмеженого поглинання за принципом «тиск – вакуум» або спосіб Лаурі. Прийнятий спосіб ТВ характеризується скороченим циклом та дозволяє досягнути глибокого просочення двома видами імпрегнату. Просочення цим способом проводили в спеціальному автоклаві у три стадії:

1. Холодне просочення праймером під дією надлишкового тиску 1,0 МПа, 1,5 МПа та 2,0 МПа з витримкою кожної ступені 0,5 год.
2. Скидання надлишкового тиску, зливання залишків неімпрегнованого праймеру та заливання фінішного імпрегнату – лляної олії.
3. Вакуумування за тиску 0,08 МПа з витримкою при температурі 60, 75 та 90°C протягом 0,5 год.

Комплексний вплив вакуумування і підвищеної температури на третій стадії дозволив знизити в'язкість як праймеру, так і фінішного імпрегнату для більш глибокого просочення, а також пришвидшив полімеризацію лляної олії, нагадаємо, що лляна олія за нормальних умов висихає до ступеня 2 протягом 7...12 діб.

Випробовували дев'ять серій по три зразки для кожної породи деревини: сосни звичайної (*Pinus sylvestris*), берези (*Betula pendula*) та ялини (*Picea abies*) віком приблизно 60 років. Для уникнення спотворень результатів, які могли виникнути при проміжному скиданні тиску, процедуру просочення за режиму «тиск – вакуум (нагрівання)» проводили окремо для кожної з дев'яти серій зразків. У лабораторний автоклав завантажували по три зразки кожного виду деревини, усього по дев'ять зразків для кожного з дев'яти циклів випробувань.

Після проведення просочення зразки-призми випробовували на стиск вздовж волокон прикладанням короткочасного навантаження за жорсткого режиму за приростом переміщень плити пресу відповідно до нормативних документів [13]. Міцність приймали як середнє арифметичне значення трьох зразків кожної серії. Значення міцності порівнювали з результатами випробування еталонних зразків кожного виду деревини, які не були піддані автоклавному просоченню. Результати випробування на міцність за стиску вздовж волокон наведені на рис.1...3 для кожного виду деревини.

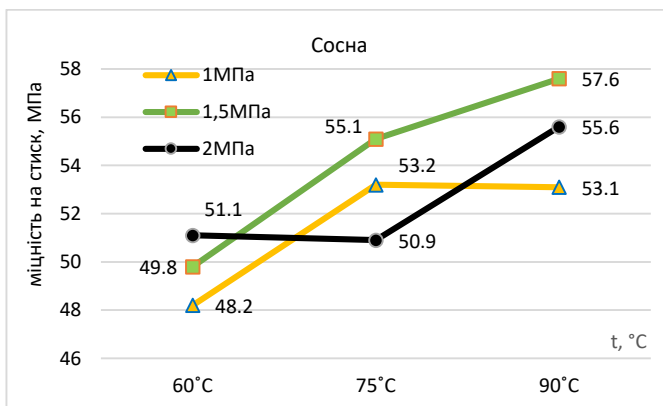


Рис.1. Міцність на стиск вздовж волокон зразків сосни, просоченої комплексним імпрегнатом, залежно від температури та тиску

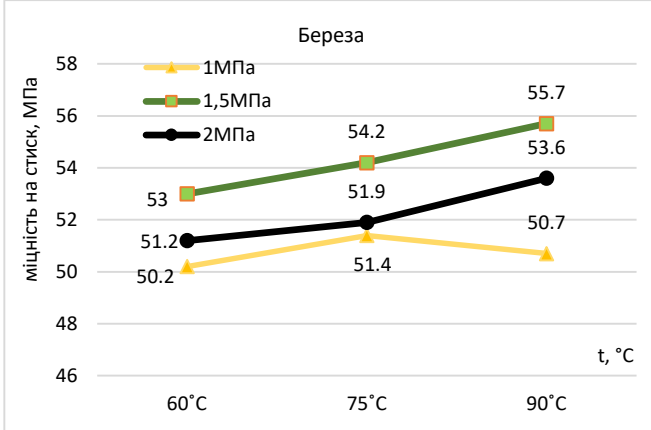


Рис.2. Міцність на стиск вздовж волокон зразків берези, просоченої комплексним імпрегнатом, залежно від температури та тиску

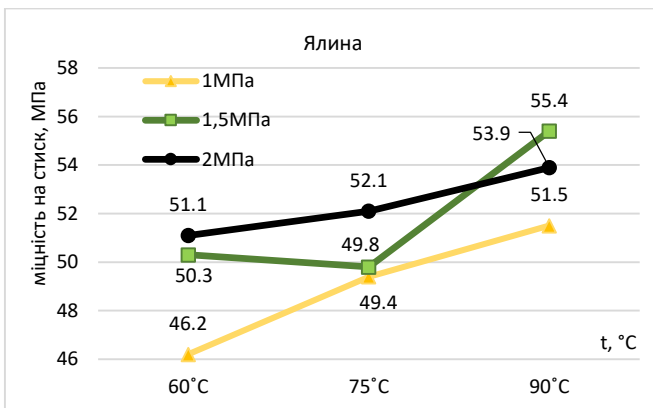


Рис.3. Міцність на стиск вздовж волокон зразків ялини, просоченої комплексним імпрегнатом, залежно від температури та тиску

Як видно з рис.1, рис.2, рис.3 завдяки автоклавному просоченню способом ТВ міцність деревини на стиск вздовж волокон підвищується. Значення підвищення міцності залежно від температури та тиску просочення відносно непросочених зразків наведено у табл.1.

Як видно з таблиці, завдяки автоклавному просоченню способом ТВ приріст міцності зразків становить: для сосни від 6,4% до 27,2 %, для берези

від 8,9% до 20,8% для ялини від 6,0% до 27,1%. Найбільші значення приросту міцності спостерігали за тиску 1,5 МПа та температури 90⁰С.

Таблиця 1

Результати експериментальних досліджень

Порода деревини	Серія зразків	Температура, ⁰ С	Тиск, МПа	Приріст міцності, %
1	2	3	4	5
Сосна	С-20-0 еталон	20	атмосферний	0
	С-60-1,0	60	1,0	6,4
	С-60-1,5	60	1,5	9,9
	С-60-2,0	60	2,0	12,8
	С-75-1,0	75	1,0	17,4
	С-75-1,5	75	1,5	21,6
	С-75-2,0	75	2,0	12,4
	С-90-1,0	90	1,0	17,2
С-90-1,5	90	1,5	27,2	
С-90-2,0	90	2,0	22,7	
Береза	Б-20-0 еталон	20	атмосферний	0
	Б-60-1,0	60	1,0	8,9
	Б-60-1,5	60	1,5	15,0
	Б-60-2,0	60	2,0	11,1
	Б-75-1,0	75	1,0	11,5
	Б-75-1,5	75	1,5	17,6
	Б-75-2,0	75	2,0	12,6
	Б-90-1,0	90	1,0	10,0
Б-90-1,5	90	1,5	20,8	
Б-90-2,0	90	2,0	16,3	
Ялина	Я-20-0 еталон	20	атмосферний	0
	Я-60-1,0	60	1,0	6,0
	Я-60-1,5	60	1,5	15,4
	Я-60-2,0	60	2,0	17,2
	Я-75-1,0	75	1,0	13,3
	Я-75-1,5	75	1,5	14,2
	Я-75-2,0	75	2,0	19,5
	Я-90-1,0	90	1,0	18,1
Я-90-1,5	90	1,5	27,1	
Я-90-2,0	90	2,0	23,6	

Висновки

1. За результатом аналізу досліджень різних авторів встановлено, що можливо підвищити фізико-механічні характеристики (ФМХ) деревини, зокрема, міцність на стиск уздовж волокон шляхом імпрегнації (просочення) різноманітними матеріалами. Згідно з класифікацією за походженням, матеріали для імпрегнації наділені певними перевагами та недоліками. Не встановлено єдиного матеріалу для просочення (імпрегнату), який максимально відповідав би усім вимогам.

2. Проаналізовано існуючі способи автоклавного просочення деревини, які забезпечують максимальну глибину проникнення імпрегнату та швидкість його висихання (полімеризації).

3. На основі аналізу існуючих засобів та способів просочення запропоновано спосіб просочення «тиск-вакуум», комплексним засобом, який складається із праймерного імпрегнату на основі дігтярної олії, живичного скипидару та борної кислоти, а також фінішного імпрегнату з натуральної лляної олії. Вказаний комплексний засіб при запропонованому способі просочення поєднує переваги розглянутих засобів та способів просочення деревини.

4. У лабораторних умовах проведено автоклавне просочення зразків сосни, берези та ялини способом «тиск-вакуум» запропонованим комплексним засобом для визначення оптимальних параметрів просочення.

5. Проведено механічні випробування на тиск вздовж волокон прикладанням короткочасного навантаження за жорсткого режиму і визначено приріст міцності просоченої деревини відносно непросоченої, який максимально становив: для сосни 27%, для берези 21%, для ялини 27% за тиску просочення 1,5 МПа та температурі 90⁰С.

References

1. Hill C. (2011). Wood modification: An update. *BioResources*, 6 (2), Pp. 918–919.
2. Sandberg D., Kutnar A., Mantanis G. (2017). Wood modification technologies - a review. *iForest - Biogeosciences and Forestry*. 10(6), Pp. 895-908.
3. Homon S.S., Savchuk V.O., Mel'nyk YU.O., Vereshko O.V. Oblast' zastosuvannya ta sposoby modyfikatsiyi kompozytsiynykh materialiv na osnovi derevyny. Suchasni tekhnolohiyi ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi. Lutsk: LNTU, 2019. Vyp. 12. S. 44–50.
4. Peretyatko B., Havrylko O., Bilins'kyu B., 2019. Analiz tekhnolohichnykh skhem prosochennya derevyny u avtoklavnykh pechakh. *Visnyk Natsional'noho universytetu "L'vivs'ka politekhnika"*. Seriya: Teoriya i praktyka budivnytstva 912, 139–145.
5. Yasniy, P., Homon, S., Iasnii, V., Gomon, S.S., Gomon, P., Savitskiy, V. (2022). Strength properties of chemically modified solid woods. *Procedia Structural Integrity*, 36, 211-216.
6. Rudavska, A., Maziarz, M., Šajgalí, M., Valášek, P., Zlamal, T., Iasnii, V., 2018. The influence of selected factors on the strength of wood adhesive joints. *Advances in Science and Technology* 12(3), 47–54.
7. Yasniy P., Gomon S. Timber with improved strength and deformable properties. *Scientific Journal of Ternopil National Technical University*. Ternopil: TNTU, 2020. Vol. 99. No3. P. 17–27.
8. Homon S.S., Homon S.S., Zinchuk A.V. Doslidzhennya modyfikovanoyi sylorom kleynoyi derevyny na styk vzdovzh volokon. *Visti Donets'koho hirnychoho instytutu*. Pokrovs'k: DVNZ «Donents'kyu NTU», 2017. №1(40). S. 134–138.
9. Gomon S.S., Savchuk V.O., Melnyk Yu.A., Vereshko O.V. Modern testing machines for investigation of wood and timber-based composite materials. *Suchasni tekhnolohiyi ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi*. Луцьк, 2020. Вип.14. С. 73-80.

10. Homon S.S., Homon S.S., Zinchuk A.V. Deformatyvništ' modyfikovanoyi sylorom kleynoyi derevyny za roboty na stysk vzdovzh volokon. Resursoekonomni materialy, konstruktsiyi, budivli ta sporudy. Rivne: NUVHP, 2017. Vyp. 34. S. 110–117.
11. Wexler H. Polymerization of Drying Oils. Chem. Rev. 1964, 64, 591–611.
12. Arminge, B.; Jaxel, J.; Bacher, M.; Gindl-Altmutter, W.; Hansmann, C. On the Drying Behavior of Natural Oils Used for Solid Wood Finishing. Prog. Org. Coat. 2020, 148, 105831.
13. DSTU ISO 3129:2015 Derevyina. Metody vidboru zrazkiv i zahal'ni vymohy do fizyko-mekhanichnykh vyprobuvan' nevelykykh bezdefektnykh zrazkiv.

Література

1. Hill C. (2011). Wood modification: An update. *BioResources*, 6 (2), Pp. 918–919.
2. Sandberg D., Kutnar A., Mantanis G. (2017). Wood modification technologies - a review. *iForest - Biogeosciences and Forestry*. 10(6), Pp. 895-908.
3. Гомон С.С., Савчук В.О., Мельник Ю.О., Верешко О.В. Область застосування та способи модифікації композиційних матеріалів на основі деревини. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. Луцьк: ЛНТУ, 2019. Вип. 12. С. 44–50.
4. Перетятко Б., Гаврилко О., Білінський Б., 2019. Аналіз технологічних схем просочення деревини у автоклавних печах. Вісник Національного університету “Львівська політехніка”. Серія: Теорія і практика будівництва 912, 139–145.
5. Yasniy, P., Homon, S., Iasnii, V., Gomon, S.S., Gomon, P., Savitskiy, V. (2022). Strength properties of chemically modified solid woods. *Procedia Structural Integrity*, 36, 211-216.
6. Rudavska, A., Maziarz, M., Šajgalí, M., Valášek, P., Zlamal, T., Iasnii, V., 2018. The influence of selected factors on the strength of wood adhesive joints. *Advances in Science and Technology* 12(3), 47–54.
7. Yasniy P., Gomon S. Timber with improved strength and deformable properties. *Scientific Journal of Ternopil National Technical University*. Ternopil: TNTU, 2020. Vol. 99. No3. P. 17–27.
8. Гомон С.С., Гомон С.С., Зінчук А.В. Дослідження модифікованої силором клеєної деревини на стиск вздовж волокон. Вісті Донецького гірничого інституту. Покровськ: ДВНЗ «Донецький НТУ», 2017. №1(40). С. 134–138.
9. Gomon S.S., Savchuck V.O., Melnyk Yu.A., Vereshko O.V. Modern testing machines for investigation of wood and timber-based composite materials. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. Луцьк, 2020. Вип.14. С. 73-80.
10. Гомон С.С., Гомон С.С., Зінчук А.В. Деформативність модифікованої силором клеєної деревини за роботи на стиск вздовж волокон. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Рівне: НУВГП, 2017. Вип. 34. С. 110–117.
11. Wexler, H. Polymerization of Drying Oils. Chem. Rev. 1964, 64, 591–611.
12. Arminge, B.; Jaxel, J.; Bacher, M.; Gindl-Altmutter, W.; Hansmann, C. On the Drying Behavior of Natural Oils Used for Solid Wood Finishing. Prog. Org. Coat. 2020, 148, 105831.
13. ДСТУ ISO 3129:2015 Деревина. Методи відбору зразків і загальні вимоги до фізико-механічних випробувань невеликих бездефектних зразків.