

УДК 691.11:674.048

doi:10.31650/2707-3068-2024-28-121-127

СПОСІБ ІМПУЛЬСНОГО ІМПРЕГНУВАННЯ ДЕРЕВИНИ ДЛЯ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Горюн О.О., асистент,

oleggoriun@vntu.edu.ua, ORCID: 0000-0001-5678-835X,

Коц І.В., к.т.н., доцент,

ivan.kots.2014@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0870-6385

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Анотація. У статті розглянуто ефективність імпульсного способу імпрегнування деревини для покращення її експлуатаційних властивостей при використанні в будівельних конструкціях. Представлено детальний аналіз сучасних методів просочування деревини, зокрема традиційного статичного та запропонованого імпульсного способів. Визначено основні переваги імпульсної технології імпрегнування, такі як підвищення довговічності, вогнестійкості деревини, а також поліпшення її фізико-механічних властивостей в залежності від типу використовуваного просочувального складу. У ході дослідження проведено експериментальне порівняння обох методів, результати якого підтверджують високу ефективність імпульсного способу просочування. Описано матеріали та методи, використані для експериментів, включаючи характеристику деревини та процес імпульсного імпрегнування. Наведено детальний опис запропонованої технології імпульсного імпрегнування деревини. Результати дослідження можуть бути використані для вдосконалення методів обробки деревини та підвищення її експлуатаційних властивостей у будівельних конструкціях, що сприяє більш ефективному та широкому використанню деревини як будівельного матеріалу.

Ключові слова: дерев'яні конструкції; будівельні матеріали; вогнезахист; біологічний захист; імпрегнування; просочування; капілярно-пористе тіло.

Вступ. Деревина є одним із найстаріших і найпоширеніших будівельних матеріалів, який використовується у будівництві завдяки своїм природним властивостям, таким як легкість, міцність, естетичність та екологічність. Важливість використання деревини в будівництві підкреслюється технологічністю виготовлення конструкцій, малими значеннями коефіцієнтів температурного розширення і теплопровідності, стійкість у найбільш поширених хімічно агресивних середовищах [1]. Однак, природна деревина має ряд недоліків, таких як схильність до гниття, впливу шкідників та втрати міцності під дією вологи, низька вогнестійкість, неоднорідність структури. Ці недоліки значно обмежують можливості її використання у будівельних конструкціях, особливо в умовах підвищеної вологості та агресивних середовищ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні наукові дослідження та практичні розробки спрямовані на підвищення експлуатаційних властивостей деревини шляхом її модифікації, що часто реалізовується шляхом просочування деревини різноманітними хімічними речовинами. Існують різні способи глибокої модифікації деревини серед яких термомеханічна, хімічно-механічна, термохімічна, хімічна, радіаційно-хімічна модифікації [2-4]. Одним з недоліків модифікації такого типу є велика трудомісткість робіт та затрат на її здійснення. Традиційні методи просочування деревини, такі як статичне імпрегнування, передбачають тривале занурення деревини у просочувальну рідину [3-6]. До них відносять технології просочування під тиском з різними технологічними схемами [4, 7-8], із застосуванням нагрівання технологічних рідин та вакуумування [4, 9], способом теплохолодних ванн [10]. Незважаючи на поширеність та численні переваги, такі способи модифікації деревини мають ряд недоліків, зокрема нерівномірність проникнення рідин у структуру деревини, недостатню глибину проникнення та значний час обробки. Дослідження,

проведені в цій галузі, вказують на обмеженість традиційних методів у досягненні глибокого проникнення та рівномірного розподілу просочувальних речовин.

Одним із перспективних методів є імпульсне імпрегнування, яке дозволяє значно покращити водостійкість, біостійкість та міцність деревини [11]. Цей метод базується на використанні імпульсів тиску для глибокого проникнення просочувальних рідин у структуру деревини, що забезпечує більшу глибину проникнення, скорочення тривалості процесу обробки, а також більш рівномірний та ефективний розподіл захисних речовин всередині матеріалу.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. У процесі вдосконалення методів просочування деревини для будівельних конструкцій постає ряд не вирішених питань, які потребують додаткового дослідження. Серед них можна виділити необхідність розробки технології просочування, яка б гарантувала підвищення властивостей деревини для будівельних конструкцій, а також проведення порівняльних досліджень між традиційним статичним та імпульсним методами імпрегнування.

Постановка цілей і завдань досліджень. Метою даного дослідження є розробка та оптимізація методу імпульсного імпрегнування деревини для покращення її властивостей при використанні у будівельних конструкціях. Дослідження спрямоване на виявлення ефективності імпульсного способу у порівнянні зі статичним способом імпрегнування деревини.

Основний матеріал і результати. Запропонований спосіб модифікації деревини шляхом імпульсного імпрегнування здійснюється наступним чином. Перший етап передбачає попереднє сушіння деревини для зменшення вологості до оптимального рівня. Сушіння проводять при нормальному режимі за температури +63...94°C в залежності від породи деревини до досягнення вологості 12...15%. Далі розміщують зразки деревини у спеціальній камері, де проводять вакуумування для видалення повітря та вологи з пор деревини. Вакуумування виконують зі зниженням тиску до величини розрідження 0,060...0,150 атм із заданою тривалістю. Після завершення вакуумування камеру з деревиною заповнюють попередньо підігрітим технологічним складом. На даному етапі розпочинається процес проникнення просочувального складу в капілярно-пористі структури деревини. Тип технологічної речовини залежить від необхідних для покращення властивостей деревини. Для зменшення водопоглинання та надання деревині водовідштовхувальних властивостей використовуються гідрофобізатори, для підвищення вогнестійкості використовуються антипірени, для поліпшення біологічної стійкості застосовуються антисептики, а для поліпшення фізико-механічних властивостей використовуються мономери та полімери. Після заповнення камери у ній створюють надлишковий тиск заданої величини для покращення проникнення технологічного складу в деревину. Далі застосовують імпульсний режим накладання тиску. Даний режим інтенсифікує процес імпрегнування деревини, а також забезпечує більш глибоке та рівномірне просочування рідини у її капілярно-пористу структуру. Даний режим передбачає виконання почергової стрибкоподібної зміни заданої величини тиску в камері з деревиною. Зміна тиску відбувається з певною частотою повторення імпульсів тиску. Процес насичення деревини в імпульсному режимі відбувається до досягнення необхідної величини проникнення технологічного складу у товщу деревини і залежить від породи деревини, а також типу технологічного складу. По завершенню імпульсного режиму роботи обладнання виконують стабілізацію тиску і злив залишків технологічного складу зі спеціальної камери. Процес імпрегнування деревини завершено. Далі проводять додаткове вакуумування деревини із заданою глибиною розрідження протягом заданої тривалості для видалення парів технологічного складу, що утворилися в порах деревини у процесі імпрегнування. По завершенню додаткового вакуумування у спеціальній камері з деревиною встановлюють атмосферний тиск, проводять

розгерметизацію та видаляють готову модифіковану продукцію для подальшої обробки чи використання.

У випадку використання мономерів в ролі технологічного складу, після етапу імпрегнування, проводять заповнення спеціальної камери з деревиною гліцерином, попередньо підігрітим до $+70\dots+94^{\circ}\text{C}$. Таким чином протягом певного періоду відбувається термokatалітична полімеризація мономера в середині деревини. Температуру гліцерину підтримують за допомогою нагрівачів. Після завершення термokatалітичної полімеризації мономера зливають залишки гліцерину і проводять додаткове вакуумування імпрегнуваної деревини із заданою глибиною розрідження для видалення парів мономера, що утворилися під час термokatалітичної полімеризації. По завершенню вакуумування у спеціальній камері з встановлюють атмосферний тиск, проводять розгерметизацію та проводять видалення готової модифікованої продукції. Запропонований спосіб модифікації деревини можна реалізувати з використанням устаткування для циклічного гідротермічного насичення будівельних виробів [12]. Технологічна схема запропонованого способу модифікації деревини представлена на рис. 1.

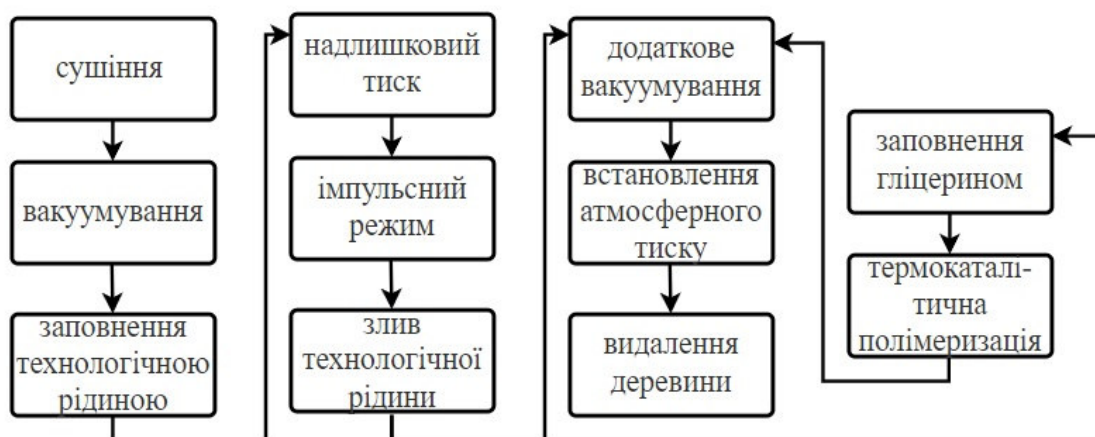


Рис. 1. Технологічна схема імпульсного способу модифікації деревини

Експериментальне дослідження спрямоване на визначення впливу імпульсної складової тиску [13] на глибину проникнення рідини у зразки деревини, порівняння величини проникнення, а також однорідності заповнення капілярно-пористої структури деревини технологічною рідиною при різних способах імпрегнування. Для експерименту використовувались хвойні породи деревини, а саме сосни щільністю 700 кг/м^3 . Зразки деревини були розрізані та відшліфовані до необхідних розмірів для випробувань і методів визначення характеристик. Базовий переріз зразків по ширині виконували у тангенціально-радіальній площині. Циліндричні зразки деревини з сосни були виготовлені діаметром 24 мм та довжиною 38 мм. Зразки поступово шліфували наждачним папером із зерном 120, 150, 240 і 320 для видалення будь-яких залишків на зразках і досягнення рівномірної постійної шорсткості поверхні. Зразки поміщали в духовку при $+90^{\circ}\text{C}$ на 24 години перед випробуваннями, щоб висушити їх, мінімізувавши вміст вологи.

За просочувальну рідину було взято оливу I-20 з кінематичною в'язкістю $32\text{ мм}^2/\text{с}$ при 40°C , густиною 890 кг/м^3 , вмістом сірки до 1% та з відсутністю механічних домішок.

Випробувальний стенд складався з просочувальної камери в якій розміщувалися дослідні зразки; рідинного насоса для створення тиску; гідроімпульсного клапана, який використовувався для створення імпульсів тиску просочувальної рідини; рідинного манометра (ГОСТ 8625-69, клас точності 1,6), що використовувався для контролю тиску в робочій камері та вимірювання амплітуди тиску.

Експеримент проводився двома способами: із застосуванням статичного тиску та гідроімпульсним способом.

У першому випадку зразки деревини просочували оливою I-20 методом занурення у камеру з просочувальною рідиною. Виконували витримку зразків у оливі під статичним надлишковим тиском величиною 3 атм протягом 30 хв.

У другому випадку зразки розміщували в просочувальній камері, заповненій оливою. Спочатку створили постійний надлишковий тиск величиною 3 атм, після чого на протязі 4 хв циклічно створювали імпульси тиску оливи. Імпульси тиску досягали максимального тиску 40 атм, з амплітудою в межах 15-20 атм та частотою 2,8 Гц. Тривалість імпульсного насичення складала 4 хв, а час витримки під статичним тиском — 6 хв. Експеримент проводився при нормальних умовах.

Після завершення процесу насичення дерев'яні зразки були розрізані і глибина насичення виміряна для подальшого аналізу. Після виконання поперечного розрізу виконувалась фіксація глибини насичення за допомогою фотознімків (рис. 2).



Рис. 2. Розрізані дослідні зразки після імпрегнування з використанням:
а) статичного тиску; б) циклічних імпульсів тиску

За даними замірів глибина насичення з використанням статичного способу імпрегнування склала 5-7 мм. На світлинах видно неоднорідність проникнення оливи в товщині зразків. У дослідних зразках другого етапу експерименту, які піддавалися імпульсному просочуванню, олива майже заповнило внутрішню структуру деревини наскрізь. Глибина проникнення оливи при розрізі зразків для імпульсного способу склала 12 мм (табл. 1).

Таблиця 1. Результати випробувань систем протикорозійних покриттів

№ п/п	Спосіб імпрегнування	Матеріал зразків	Тривалість сушіння T_c , хвилин	Просочувальна рідина	Тривалість імпрегнування T_i , хвилин	Тиск p , атм	Глибина проникнення, мм
1	Постійний тиск	ялина	1440	олива I-20	30	3	5...7
2	Імпульсний режим тиску	ялина	1440	олива I-20	10	15...20	12

Ці показники є приблизно в 2 рази більшими від величини проникнення оливи у товщину зразка витриманого під статичним надлишковим тиском. На підставі результатів дослідження можна стверджувати про збільшення глибини проникнення оливи в капілярно-пористу структуру деревини, при меншій тривалості імпрегнування за використання циклічного імпульсного способу імпрегнування.

Висновки. У проведеному дослідженні було запропоновано та виконано детальний опис ефективного способу модифікації деревини для будівельних конструкцій, який реалізується за допомогою технології імпульсного імпрегнування деревини технологічними складами. Дана технологія дозволяє інтенсифікувати процес обробки деревини і скоротити час обробки деревини, що підвищує ефективність виробничого процесу та знижує витрати на енергію і матеріали. Збільшення глибини проникнення просочувальної рідини в пори деревини порівняно зі статичним методом разом із забезпеченням більш рівномірного розподілу рідини в структурі деревини є важливим для підвищення довговічності та експлуатаційних властивостей дерев'яних конструкцій залежно від типу просочувального складу (наприклад, вогнестійкість, біологічна стійкість, міцність, гідрофобність).

Виконано порівняння статичного способу та імпульсного способів імпрегнування хвойних зразків деревини. Встановлені експериментальні дані доводять позитивний вплив імпульсної складової тиску на збільшення глибини та досягнення однорідності проникнення просочувальної рідини в капілярно-пористу структуру деревини. Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення технологій обробки деревини і встановленню конкретного діапазону параметрів, що сприятиме підвищенню якості будівельних матеріалів та конструкцій.

Література

1. Марченко Н. В. Використання деревини в елементах будівельних конструкцій. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2013. Вип. 187(3). С. 323-329. DOI:10.31548/forest2019.04.103.
2. Гомон С.С., Савчук В.О., Мельник Ю.А., Верешко О.В. Область застосування та способи модифікації композиційних матеріалів на основі деревини. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. 2019. Вип. 12. С. 44-50. DOI:10.36910/6775-2410-6208-2019-2(12)-06.
3. Пащенко Т.М., Світла З.І. Будівельне матеріалознавство: Навчальний посібник. Аграрна освіта. Київ, 2009. 434 с.
4. Василів Р.М., Білей П.В. Огляд методів просочування деревини антипіренами. Пожежна безпека. 2005. №7. С. 56-60.
5. Довбенко Т. О., Гомон С. С., Матвіюк О. В., Павлюк А. П. Модифікація деревини екологічно чистими матеріалами. Вісник НУВГП. 2023. Вип. 1(101). С. 134-142. DOI:10.31713/vt1202311.
6. Плотников І.В., Лагута Д.О., Рашкевич Н.В. Інноваційні заходи вогнезахисту дерев'яних конструкцій. Проблеми надзвичайних ситуацій: Збірник матеріалів Міжнародної наук.-практ. конференції 16 травня 2024 р., Харків, 2024, С. 224-225.
7. Sandberg D., Kutnar A., Mantanis G. Wood modification technologies – a review. iForest – Biogeosciences and Forestry. 2017. Vol. 10(6). pp. 895-908. DOI: 10.3832/ifor2380-010.
8. Mantanis G. I. Chemical modification of wood by acetylation or furfurylation: A review of the present scaled-up technologies. BioRes. 2017. Vol. 12(2). pp. 4478-4489. DOI:10.15376/biores.12.2.Mantanis.
9. Озарків І.М., Перетятко Б.М. Методика просочення деревини антипіренами методом тепло-холодних ванн. Науковий вісник НЛТУ України. 2008. Вип. 18.9. С. 113-118.
10. Thermo-vacuum modification of spruce (*Picea abies* Karst.) and fir (*Abies alba* Mill.) wood. BioResources. 2012. №7(3). pp. 3656-3669. DOI:10.15376/biores.7.3.

11. Горюн О.О. Гідротермальна обробка та імпульсне насичення капілярно-пористих матеріалів. Інноваційні технології в будівництві: Збірник матеріалів Міжнародної наук.-техн. конференції 10-12 листопада 2020 р., Вінниця, 2020, С.128-131.

12. Устаткування для циклічного гідротермічного насичення будівельних виробів: пат. 145860 Україна, МПК6 C04B 41/45. № u2020 04696; заявл. 24.07.2020 ; опубл. 06.01.2021, бюл. № 1. 6 с.

13. Коц І. В., Горюн О. О. Математичне моделювання процесів насичення бетонних зразків під дією гідроімпульсного навантаження. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2019. № 2. С. 123-129.

References

- [1] Marchenko N. V. Vykorystannia derevyny v elementakh budivelnnykh konstruktsii. Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. 2013. Vol. 187(3). pp. 323-329. DOI:10.31548/forest2019.04.103.
- [2] Homon S.S., Savchuk V.O., Melnyk Yu.A., Vereshko O.V. Oblast zastosuvannia ta sposoby modyfikatsii kompozytsiinykh materialiv na osnovi derevyny. Suchasni tekhnolohii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi. 2019. Vol. 12. pp. 44-50. DOI:10.36910/6775-2410-6208-2019-2(12)-06.
- [3] Pashchenko T.M., Svitla Z.I. Budivelve materialoznavstvo: Navchalnyi posibnyk. Ahrarna osvita. Kyiv, 2009. 434 p.
- [4] Vasylyv R.M., Bilei P.V. Ohliad metodiv prosochuvannia derevyny antypirenamy. Pozhezhna bezpeka. 2005. №7. pp 56-60.
- [5] Dovbenko T. O., Homon S. S., Matviiuk O. V., Pavliuk A. P. Modyfikatsiia derevyny ekolohichno chystymy materialamy. Visnyk NUVHP. 2023. Vol. 1(101). pp. 134-142. DOI:10.31713/vt1202311.
- [6] Plotnykov I.V., Lahuta D.O., Rashkevych N.V. Innovatsiini zakhody vohnezakhystu derevianykh konstruktsii. Problemy nadzvychaynykh sytuatsii: Zbirnyk materialiv Mizhnarodnoi nauk.-prakt. konferentsii 16 may 2024 r., Kharkiv, 2024, pp.224-225.
- [7] Sandberg D., Kutnar A., Mantanis G. Wood modification technologies – a review. iForest – Biogeosciences and Forestry. 2017. Vol. 10(6). pp. 895-908. DOI: 10.3832/ifer2380-010.
- [8] Mantanis G. I. Chemical modification of wood by acetylation or furfurylation: A review of the present scaled-up technologies. BioRes. 2017. Vol. 12(2). pp. 4478-4489. DOI:10.15376/biores.12.2.Mantanis.
- [9] Ozarkiv I.M., Peretiatio B.M. Metodyka prosochennia derevyny antypirenamy metodom teplo-kholodnykh vann. Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy. 2008. Vol. 18.9. pp. 113-118.
- [10] Thermo-vacuum modification of spruce (*Picea abies* Karst.) and fir (*Abies alba* Mill.) wood. BioResources. 2012. №7(3). pp. 3656-3669. DOI:10.15376/biores.7.3.
- [11] Horiun O.O. Hidrotermalna obrobka ta impulsne nasychennia kapiliarno-porystykh materialiv. Innovatsiini tekhnolohii v budivnytstvi: Zbirnyk materialiv Mizhnarodnoi nauk.-tekhn. konferentsii 10-12 lystopada 2020 r., Vinnytsia, 2020, pp.128-131.
- [12] Ustatkuvannia dlia tsyklichnoho hidrotermichnoho nasychennia budivelnnykh vyrobiv: pat. 145860 Ukraina, МПК6 C04B 41/45. № u2020 04696; zaiavl. 24.07.2020 ; opubl. 06.01.2021, biul. № 1. 6 p.
- [13] Kots I. V., Horiun O. O. Matematychno modeliuвання protsesiv nasychennia betonnykh zrazkiv pid diieiu hidroimpulsnoho navantazhennia. Suchasni tekhnolohii, materialy i konstruktsii v budivnytstvi. 2019. № 2. pp. 123-129.

METHOD OF IMPULSE IMPREGNATION OF TIMBER FOR BUILDING STRUCTURES

Horiun O.O., Assistant,

oleggoriun@vntu.edu.ua, ORCID: 0000-0001-5678-835X,

Kots I.V., PhD, Associate Professor,

ivan.kots.2014@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0870-6385

Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia

Abstract. The article discusses the effectiveness of the impulse method of timber impregnation to improve its operational properties when used in building structures. A detailed analysis of modern timber impregnation methods is presented, in particular, the traditional static and the proposed impulse methods. The main advantages of impulse impregnation technology are defined, such as increasing the durability and fire resistance of wood, as well as improving its physical and mechanical properties, depending on the type of impregnation composition used. In the course of the study, an experimental comparison of both methods was carried out, the results of which confirm the high efficiency of the pulsed infiltration method. The materials and methods used for the experiments are described, including wood characterization and the pulsed impregnation process. A detailed description of the proposed technology of impulse impregnation of wood is given. The results of the research can be used to improve wood processing methods and increase its operational properties in building structures, which contributes to more efficient and widespread use of timber as a building material. The purpose of this study is to develop and optimize the method of impulse impregnation of wood to improve its properties when used in building structures. The research is aimed at identifying the effectiveness of the impulse method in comparison with the static method of timber impregnation. In the conducted research, a detailed description of an effective method of wood modification for building structures, which is implemented using the technology of impulse impregnation of wood with technological compositions, was proposed and performed. This technology allows you to intensify the wood processing process, increase the penetration depth of the impregnating liquid into the pores of the wood and ensure a more even distribution of the liquid in the wood structure. This is important for increasing the durability and operational properties of wooden structures depending on the type of impregnation composition (for example, fire resistance, biological resistance, strength, hydrophobicity). The obtained experimental data prove the positive effect of the impulse component of pressure on increasing the depth and achieving homogeneity of penetration of the impregnating liquid into the capillary-porous structure of wood.

Keywords: wooden structures; building materials; fire protection; biological protection; impregnation; saturation; capillary-porous body.