

ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕРЕВИННИХ КОМПОЗИТИВ НА ОСНОВІ СТЕБЕЛ РІПАКУ ТА МІНЕРАЛЬНОГО В'ЯЖУЧОГО

Встановлено залежності фізико-механічних характеристик арболітових виробів від питомого вмісту у вихідній композиції ріпакових частинок і мінерального в'язучого. Отримано результати, які забезпечують встановлення закономірностей впливу технологічних параметрів на властивості деревинного композиційного матеріалу, що виготовлений з використанням відходів ріпаку. Обґрунтовано основні чинники, що впливають на міцність матеріалу, зокрема, це вміст водорозчинних речовин у лігноцелюлозному наповнювачі, адгезія наповнювача до цементного в'язучого, міцність наповнювача, активність цементу і його витрата на 1 м³ цього матеріалу. Вияснено, що підвищений вміст мінеральних речовин у стеблах ріпаку має позитивний вплив на адгезію з мінеральними в'язучими. З'ясовано, що наявність високопористої внутрішньої паренхімної тканин у стеблах ріпаку робить можливим його використання за вмістом більше 35% у стружковій масі для виготовлення теплоізоляційних деревинних композиційних матеріалів на основі мінерального в'язучого. Експериментально доведено, що деревинні композиційні матеріали, виготовлені за звичайною технологією, з додаванням у композиційні матеріали деревинних частинок до 35% ріпакових частинок мають механічні показники, що відповідають вимогам державного стандарту ДСТУ EN 312-2:2003. Запропоновано способи виготовлення композиційних матеріалів на основі мінерального в'язучого з використанням відходів ріпаку, які дають змогу розширити сировинну базу для виготовлення цих матеріалів завдяки залученню біомаси сільськогосподарського виробництва – ріпакової сировини, зменшити собівартість арболіту і, відповідно, зекономити цінну на деревинну сировину.

Ключові слова: біомаса, вживана деревина, ріпакові частинки, арболіт, в'язуче, композиція, технологія, міцність, склеювання, адгезія, перероблення, залишки, відходи, циркулярна економіка, економічна ефективність.

Вступ. Накопичення рослинної біомаси та вживаної деревини на звалищах [9] створює низку екологічних, економічних та соціальних проблем, таких як викиди парникових газів, забруднення довкілля та втрата ресурсів [7]. Використання цих матеріалів у межах концепції циркулярної економіки [7, 9, 10, 12, 20] дозволяє мінімізувати ці негативні наслідки та сприяє сталому розвитку. Замість захоплення біомаси та деревинних залишків на полігонах доцільно використовувати їх для виробництва енергії, добрив та екологічних матеріалів – деревинних композитів [1, 2, 4, 11, 12], зокрема арболіту [3, 19]. Це допоможе зменшити екологічний слід, підвищити ефективність управління відходами та сприяти розвитку регіональних економік. Одним з найбільш перспективних видів деревинних композиційних матеріалів (ДКМ) є матеріали виготовлені з використанням мінераль-

¹ Копанський Микола Михайлович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій деревинних композиційних матеріалів, целюлози та паперу. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-032-238-44-99. E-mail: m_kopansky@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3897-4818>

² Козак Руслан Олегович – доктор технічних наук, професор кафедри технологій деревинних композиційних матеріалів, целюлози та паперу. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-032-238-44-99. E-mail: kozak_r@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1297-9810>

³ Кусняк Ірина Іванівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій деревинних композиційних матеріалів, целюлози та паперу. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-032-238-44-99. E-mail: iryna.rondyak@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3980-3110>

ного в'язучого. Вони використовуються у будівництві та інших галузях промисловості. Деревинні матеріали на основі мінерального в'язучого різноманітні за властивостями, зовнішнім виглядом та структурою, мають високу міцність при малій, середній щільності, негорючі, біостійкі, нетоксичні. Ці композиційні матеріали містять деревинний наповнювач, мінеральну в'язучу речовину, воду і хімічні добавки, що прискорюють затвердіння цементу і покращують властивості деревинно-мінерального матеріалу. Вони поєднують у собі особливості деревини і мінеральних, неорганічних матеріалів і тому є цінними для будинкобудування.

Проблема. Щорічно накопичуються значні обсяги аграрної біомаси (зокрема, стебел ріпаку) та деревинних залишків (тріски, тирса, вживана деревина) [13, 14, 20]. Через відсутність ефективної утилізації ці ресурси часто опиняються на звалищах або спалюються, що сприяє забрудненню довкілля та втраті цінних матеріалів [5, 7, 9, 17]. Проте, з урахуванням циркулярної економіки [10], ці відходи можна використати для створення деревинних композиційних матеріалів — екологічних альтернатив традиційним матеріалам. Композиційні матеріали [1, 2] на основі рослинної біомаси та деревинних відходів представляють собою суміш органічних волокон (стебел ріпаку, тирси, трісок) з мінеральними чи полімерними зв'язуючими речовинами. Вони можуть використовуватися для виготовлення: плитних матеріалів (ДСП, МДФ, OSB) [4, 9, 11, 12, 17, 18]; будівельних блоків (арболіт, легкий бетон). Арболіт — це легкий будівельний матеріал, що складається з органічних наповнювачів (рослинної біомаси або деревини), цементу та мінеральних добавок. У контексті циркулярної економіки, яка спрямована на повторне використання ресурсів [9, 13], зменшення відходів та мінімізацію негативного впливу на довкілля, виробництво арболіту з біомаси та вживаної деревини набуває особливої актуальності.

Актуальність. Актуальність використання відновлювальних ресурсів [4, 7, 11, 12, 16], зокрема для виробництва арболіту, зумовлена кількома факторами: підвищенням екологічних стандартів, необхідністю ресурсозбереження та підвищенням теплоізоляційних вимог у будівництві. Арболіт, який містить деревну стружку та цемент, має низьку теплопровідність, добру паропроникність і високу вогнестійкість. Завдяки цим властивостям він може конкурувати з традиційними матеріалами, такими як газоблоки та керамічна цегла, при цьому забезпечуючи енергоефективність будівель. Актуальність використання стружки із вживаної деревини [6, 17, 18] та стебел ріпаку [3, 19] для виробництва арболіту обумовлена як екологічними, так і економічними чинниками. Поєднання деревинних залишків [16, 18, 20] та рослинної біомаси дозволяє ефективно використовувати вторинні ресурси, що знижує залежність від свіжої деревини. Дослідження показують, що додавання ріпакової сировини в композитні матеріали позитивно впливає на їх механічні властивості та здатність до теплоізоляції. Це дозволяє підвищити конкурентоспроможність арболіту як будівельного матеріалу, зменшуючи потребу в хімічних добавках і знижуючи вартість виробництва.

Крім того, ріпак має гарні властивості як наповнювач завдяки низькій теплопровідності та доступності, що робить його цінним ресурсом у виробництві композитів. Інтеграція цих компонентів сприяє створенню матеріалів із поліпшеними тепло- та звукоізоляційними характеристиками, які відповідають сучасним будівельним стандартам і вимогам щодо енергоефективності.

Застосування таких відновлювальних ресурсів відповідає принципам сталого розвитку та знижує екологічний слід деревообробної галузі, роблячи її більш екологічно чистою та економічно вигідною. Це підтверджують дослідження вчених Національного лісотехнічного університету України та інших наукових праць, що аналізують вплив подібних наповнювачів на якість композитних матеріалів [6, 8, 11, 15, 18] та арболіту, зокрема [19].

Ресурси. Використання біомаси, зокрема стебел ріпаку, в промисловому виробництві набуває все більшої актуальності в умовах переходу на циркулярну економіку [4, 7, 9, 10, 11, 12, 16, 20]. Це підхід, який спрямований на мінімізацію відходів, максимальне використання ресурсів та відновлення екосистем. Однак, обсяг виготовлення цих матеріалів обмежується запасами деревинної сировини, яка формується у природі на протязі багатьох років. Перспективним видом сировини для виготовлення деревинних композиційних матеріалів є лігноцелюлозна сировина рослинного походження, зокрема стебла ріпаку. Стебла ріпаку, як залишковий продукт агровиробництва, можуть стати цінним ресурсом для різних промислових галузей. Ріпак – надзвичайно цінна кормова культура, але він також може бути і одним з елементів сировинної бази у виробництві вказаних матеріалів. Проведений аналіз останніх досліджень з використання відходів сільськогосподарського виробництва для виготовлення продукції целюлозно-паперового виробництва та виробництва ДКМ дає підстави зробити висновок про те, що, окрім пшеничної та житньої соломи, є доцільним використання з цією метою і стебел ріпаку. Із соломи ріпаку (2-6 тони з гектара) можна виготовляти папір, целюлозу, картон. З одного гектара ріпакового поля можна виготовити до 2 тони паперу. Такі технології успішно застосовуються у Великобританії, Угорщині, Іспанії, Португалії. Із недеревної сировини у світі виробляють вже близько 10% целюлози.

Особливості та переваги використання додаткових ресурсів:

- Рослинна біомаса (солома, стебла ріпаку, льону та ін.) є залишковим продуктом аграрної діяльності, який зазвичай утилізується шляхом спалювання або перегнивання. Рослинні залишки та деревина під час росту поглинають вуглекислий газ, що компенсує частину викидів, пов'язаних із виробництвом матеріалів.
- Використання вживаної деревини з демонтажу, меблевих залишків чи інших джерел дозволяє зменшити кількість відходів, що опиняються на звалищах.
- Використання вторинної сировини (вживаної деревини) сприяє скороченню обсягів вирубки лісів і знижує екологічний слід. Вживання відновлюваних джерел сировини забезпечує регіональну незалежність від імпорту та зменшує залежність від традиційних будівельних матеріалів (піску, щебеню).
- Ріпак є однією з найпоширеніших олійних культур у світі, що дає значну кількість побічної біомаси у вигляді стебел та листя.
- Біомаса ріпаку залишається маловикористаною і часто утилізується шляхом спалювання, що сприяє викидам CO₂.
- Використання стебел ріпаку дозволяє створювати замкнені цикли у сільському господарстві, де рослинні залишки перетворюються на цінний ресурс для інших галузей.
- Біомаса ріпаку може замінити викопні ресурси у виробництві енергії та матеріалів, що відповідає принципам декарбонізації економіки.

Щодо економічних показників цього щорічно поновлюваного ресурсу (стебел ріпаку), то середня ринкова ціна в декілька разів менша за деревину, а також менші витрати на подрібнювальне і сушильне обладнання тощо. Включення ріпаківих стебел і деревинних залишків у виробництво арболіту покращує механічні та теплоізоляційні характеристики матеріалу. Дослідження показують, що такі

композити мають добрі експлуатаційні властивості, зокрема стійкість до вологи, що робить їх конкурентоспроможними з традиційними матеріалами. Використання вживаної деревини допомагає компенсувати брак свіжої сировини, що особливо актуально в Україні, де ресурси є обмеженими. Це сприяє збереженню лісів і підвищує ефективність деревообробної галузі. Особливості ріпаку як сировини для деревинних композиційних матеріалів наступні: хімічний склад ріпакової сировини відмінний від деревини: порівняно з деревиною ріпак містить більше геміцелюлоз, золи і кремнезему та менше лігніну; ріпакова сировина морфологічно більш складна і менш однорідна, ніж деревина; ріпакові частинки гідрофобніші, ніж деревинні; міцнісні властивості ріпаку набагато нижчі порівняно з деревиною.

Аналіз наукових праць. Наукові дослідження показують значний потенціал використання вживаної деревини у різних технологіях перероблення [9, 18] та біомаси для створення деревинних композитів і конструкційних матеріалів, що сприяє розвитку циркулярної економіки. Вони демонструють переваги з точки зору екології, адже дозволяють зменшити кількість відходів, уникнути спалювання деревинних залишків і знизити залежність від первинних ресурсів. У сучасних умовах принципи повторного використання матеріалів є ключовими. У Європі підхід до перероблення деревинних відходів є частиною плану дій щодо переходу до циркулярної економіки [10], спрямованого на збільшення обсягів переробки до 30% до 2030 року. Використання біомаси та вторинної деревини як наповнювачів допомагає зменшити екологічний вплив упродовж життєвого циклу матеріалів і підвищити їх економічну привабливість, особливо у виробництві легких та термоізоляційних матеріалів для будівництва та інших сфер застосування. Водночас, виклики, такі як сумісність компонентів і підвищення довговічності матеріалів, потребують наукових досліджень, технологічних інновацій та ретельної оцінки екологічного сліду кожного продукту через аналіз життєвого циклу (LCA) для зменшення негативного впливу на довкілля.

Є кілька цікавих наукових праць, що розглядають використання деревини та стебел ріпаку для створення композитних матеріалів, таких як арболіт. Дослідження підтверджують можливість застосування стебел ріпаку як альтернативної сировини, що розширює ресурсну базу та дозволяє ефективно використовувати відходи сільського господарства. Дослідження показують, що арболіт ефективно утримує тепло та сприяє природній вентиляції будівель, зменшуючи ризик утворення конденсату. Він також є прикладом ресурсозберігаючого матеріалу, оскільки для його виготовлення використовуються целюлозні залишки та промислові відходи, що знижує потребу у видобутку нової сировини. Наприклад, в роботі [19] було проаналізовано виробництво деревинних композиційних матеріалів з ріпакової сировини на основі мінерального в'язучого. Дослідження показали, що така технологія сприяє не лише зниженню собівартості матеріалів, але й підвищує їхні механічні властивості, що робить їх привабливими для використання в будівельній галузі. Вона також демонструє потенціал ріпакової сировини у виробництві стружкових плит та інших матеріалів, орієнтованих на екологічність та економію ресурсів. Такі роботи підкреслюють важливість поєднання деревинних відходів із сільськогосподарською сировиною для створення стійких і доступних матеріалів, зокрема в контексті виробництва арболіту, який може використовуватися у будівництві через його легкість та теплоізоляційні властивості.

Наукові дослідження в Україні активно розглядають використання вживаної деревини у виробництві деревинностружкових плит (ДСП) [1, 2, 4, 11, 12, 17, 18]. Однією з ключових тем є оптимізація технологій для зменшення втрат сировини та впровадження екологічно чистих клеючих речовин. Зокрема, аналізуються властивості старої деревини та її здатність забезпечувати належну міцність і стабільність плит. Також розробляються методи комбінування різних типів деревинних відходів для створення нових матеріалів із поліпшеними характеристиками, зменшуючи потребу у свіжій деревині. Проблема утилізації вживаної деревини та залишків сільськогосподарських культур, зокрема стебел ріпаку, набуває дедалі більшої актуальності через зростання обсягу відходів і необхідність сталого управління ресурсами. Інтеграція цих матеріалів у виробництво композитів, як-от арболіт, може стати ефективним рішенням для зменшення екологічного навантаження та оптимізації використання вторинної сировини. Тому, дослідження та аналіз властивостей ріпакової сировини та параметрів ріпакових частинок як наповнювача композиційних матеріалів, створює певні передумови застосування ріпакової сировини у виробництві деревинних композиційних матеріалів на основі мінерального в'язучого без суттєвих змін у технології останніх.

Мета і завдання. Мета роботи – встановити закономірності впливу технологічних параметрів на властивості деревинних композиційних матеріалів з використанням ріпакових відходів. **Основні завдання:** встановити можливість і доказати доцільність використання ріпаку у виробництві деревинних композиційних матеріалів на основі мінерального в'язучого; вивчити властивості ріпаку та визначити розміри і фракційний склад подрібнених ріпакових частинок; дослідити вплив складу арболітової суміші, а саме вмісту ріпакової сировини, кількості цементу на фізико-механічні властивості композиційних матеріалів.

Методика та матеріали. Дослідження проводилися за двома напрямками. Перший напрямок дослідження був направлений на визначення впливу співвідношення ріпакових і деревинних частинок у деревинно-цементній композиції на фізико-механічні властивості арболіту. Другий напрямок досліджень був присвячений визначенню впливу фракції ріпакових часток на фізико-механічні показники арболіту. При цьому виготовлявся арболіт марки М25, як найбільш поширений у будівництві. Компонентний склад арболітової суміші підбирався згідно існуючих норм витрат для арболіту, виготовленого з деревинного наповнювача.

Для виконання досліджень використовувались такі матеріали: деревинні частинки, які використовуються у промисловому виготовленні арболіту; біомаса – відходи ріпакової сировини, виготовлені шляхом подрібнення на лопатевій дробарці, яка використовується для подрібнення органічних матеріалів; портландцемент марки М 400; затверджувач (хлорид кальцію); вода технічна та дистильована; фільтрувальний папір. Після подрібнення частинки сортувалися на відповідні фракції, щоб відокремити великі частинки і порошок. Фракційний склад ріпакових частинок визначався шляхом фракційного аналізу. Розміри частинок вимірювали за допомогою індикаторного товщиноміра і штангенциркулів і мікрометра. Довжину частинок визначали з точністю до 0,1 мм, ширину – до 0,02 мм, товщину – до 0,01 мм. Сформовані зразки витримувалися у формах протягом 1 доби. Після цього їх виймали із форм і витримували у термокамері за температури 40 °С протягом 24 години, пізніше їх витримували ще 10 днів за нормальних умов.

Потім зразки досліджували на водопоглинання, набрякання за товщиною та на міцність при статичному згині та на стиск. Для проведення подальших досліджень з виготовленого матеріалу вирізались експериментальні зразки відповідних розмірів для визначення механічних властивостей. Виготовлені зразки нумерувались і випробовувались відповідно до ДСТУ Б В.2.7-82-99. Перед випробуванням визначалися розмірні і вагові показники. Визначення властивостей деревинних композиційних матеріалів здійснювали після 12 діб з дня витримки виробу.

Результати. Залежність межі міцності матеріалу на стиск від вмісту ріпакових частинок показано на рис.1. Як видно з графіка при збільшенні вмісту ріпакових частинок межа міцності на стиск зменшується. Такий характер пояснюється тим, що міцність ріпакових частинок менша за міцність деревинних частинок, а це впливає і на міцність матеріалу.

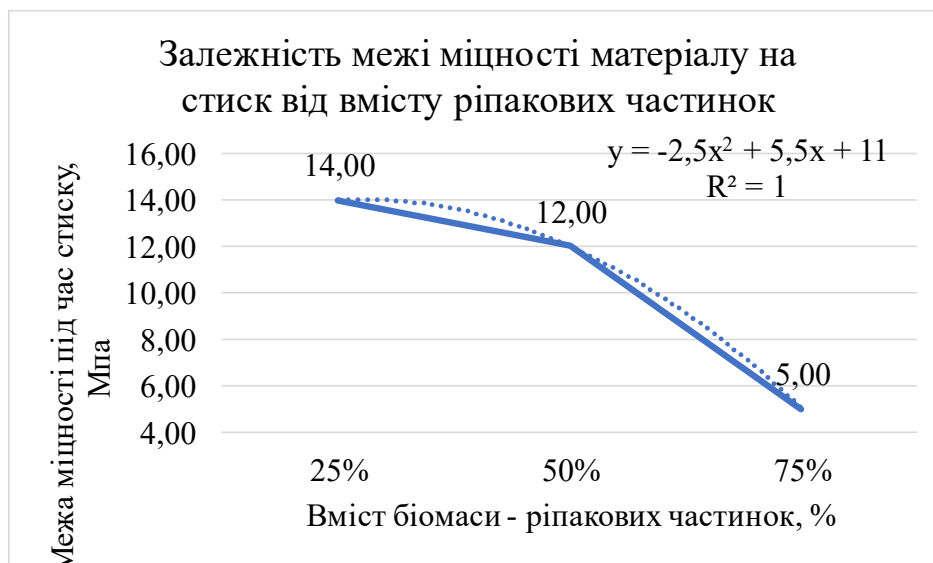


Рис.1. Залежність межі міцності арболіту на стиск від вмісту ріпакових частинок

Залежність межі міцності матеріалу на статичний згин від фракції ріпакових частинок показано на рис. 2. Дана залежність має характер близький до лінійного.

Зменшення розмірів ріпакових частинок спричиняє зростання межі міцності на стиск. Це пояснюється тим, що менші частинки краще перемішуються з цементом, краще упаковуються при формуванні виробу, а також спостерігається деяке проникнення цементного молочка у поверхневий шар частинки, а це спричиняє часткове модифікування шляхом цементації поверхневого шару і змішування виробу в цілому.

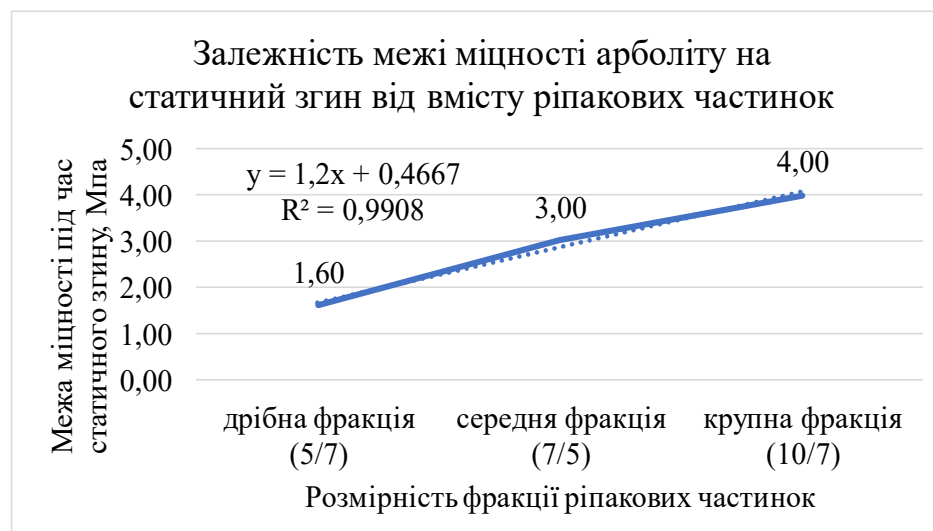


Рис. 2. Залежність межі міцності арболіту на статичний згин від фракції ріпакових частинок.

Залежність водопоглинання плит від вмісту у них ріпакової сировини показана на рис. 3.

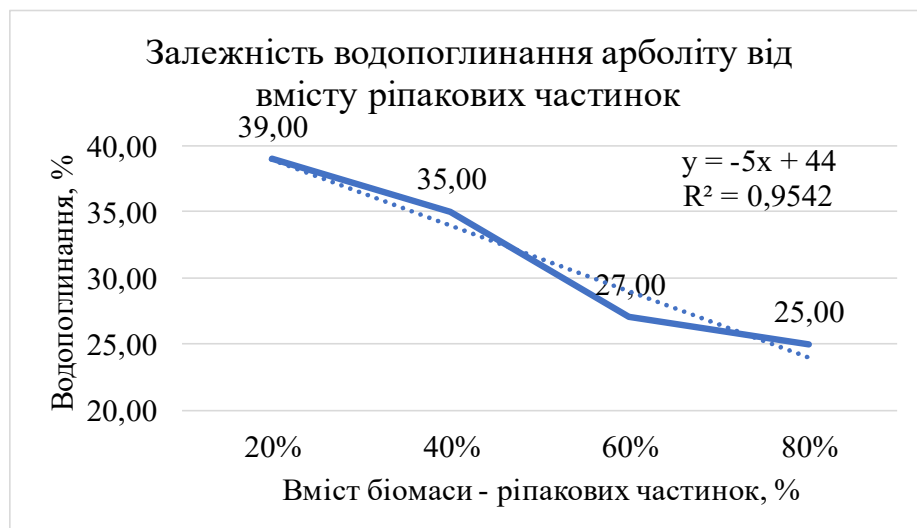
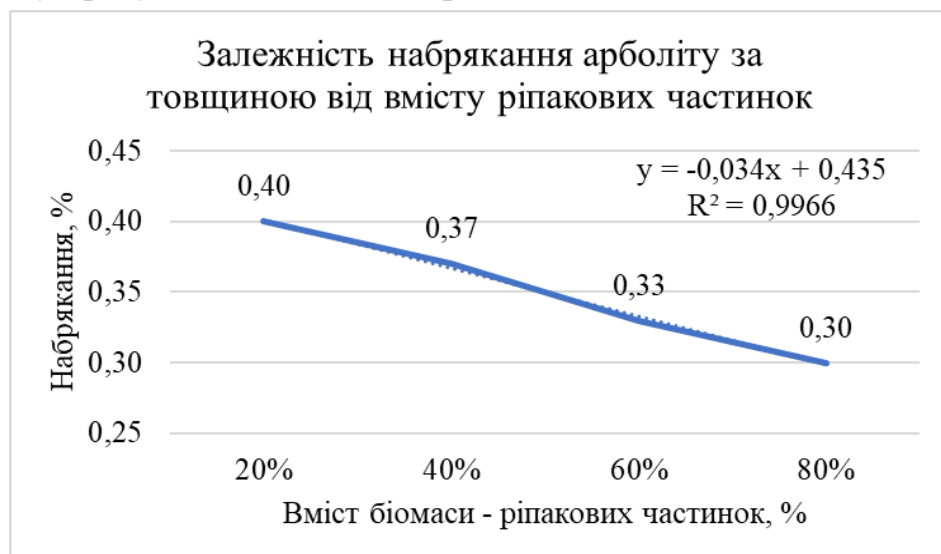


Рис. 3. Залежність водопоглинання арболіту від вмісту ріпакової сировини

Як видно з графіка при збільшенні вмісту ріпакової сировини водопоглинання арболіту зменшується. Ця залежність близька до

лінійної. Така закономірність пояснюється тим, що при збільшенні вмісту ріпакових частинок пористість матеріалу зменшується, оскільки стебла ріпаку маючи меншу порівняно з деревиною твердість і жорсткість, спресовуються під дією тиску пресування. Частина пор заповнюється цементним молочком.



Подібна закономірність спостерігається і при визначенні впливу вмісту ріпакової сировини на набрякання за товщиною ДКМ (рис. 4), однак спадання цього параметра при збільшення вмісту ріпакової сировини є менш інтенсивне.

Рис. 4. Залежність набрякання арболіту від вмісту ріпакової сировини

Встановлено, що графічна залежність має лінійний характер. При цьому інтенсивність зміни вихідного параметра є незначною. Тобто набрякання арболіту під час збільшення вмісту ріпакової сировини зменшується мінімально, це пояснюється тим, що цементний каркас втримує частинки, компенсуючи напруження деформації. Деревні частинки мають більшу здатність до набрякання, тому що у них каркас жорсткіший і ці частинки більше здатні до деформації, а ріпакові частинки мають менш жорсткіший каркас і тому вони менше здатні до набрякання.

Практичні рекомендації. Розширення сировинної бази для виготовлення арболіту із біомаси, зокрема за рахунок використання аграрних відходів (наприклад, стебел ріпаку) та деревинних залишків, вимагає дотримання певних умов для забезпечення ефективності та якості виробництва. Основні умови такого розширення наступні: забезпечення стабільного постачання сировини від логістичних ланцюгів для безперебійної доставки як деревинних залишків, так і біомаси до належного зберігання для уникнення псування; розроблення нових технологій

виготовлення композитів із вживаної деревини та ріпаку потрібні спеціальні технології подрібнення та очищення, які мінімізують сторонні домішки – ефективно поєднання цих матеріалів із в'язкими речовинами, такими як цемент, також потребує нових підходів до підготовки та змішування компонентів; покращення екологічних властивостей матеріалів, зокрема через використання біомаси у виробництві арболіту, що сприяє зменшенню викидів парникових газів та мінімізації спалювання відходів; інвестиції для розширення сировинної бази шляхом створення економічних стимулів для підприємств, які використовують біомасу.

Висновки. Отримано результати, які забезпечують встановлення закономірностей впливу технологічних параметрів на властивості деревинного композиційного матеріалу, що виготовлений з використанням відходів ріпаку. Обґрунтовано основні чинники, що впливають на міцність матеріалу, зокрема, це вміст водорозчинних речовин у лігноцелюлозному наповнювачі, адгезія наповнювача до цементного в'язучого, міцність наповнювача, активність цементу і його витрата на 1 м³ цього матеріалу. Вияснено, що підвищений вміст мінеральних речовин у стеблах ріпаку має позитивний вплив на адгезію з мінеральними в'язучими. З'ясовано, що наявність високопористої внутрішньої паренхімної тканин у стеблах ріпаку робить можливим його використання за вмістом більше 35% у стружковій масі для виготовлення теплоізоляційних деревинних композиційних матеріалів на основі мінерального в'язучого. Експериментально доведено, що деревинні композиційні матеріали, виготовлені за звичайною технологією, з додаванням у композиційні матеріали деревинних частинок до 35% ріпакових частинок мають механічні показники, що відповідають вимогам державного стандарту ДСТУ EN 312-2:2003. Запропоновано способи виготовлення композиційних матеріалів на основі мінерального в'язучого з використанням відходів ріпаку, які дають змогу розширити сировинну базу для виготовлення цих матеріалів завдяки залученню відходів сільськогосподарського виробництва – ріпакової сировини, зменшити собівартість арболіту і, відповідно, зекономити цінну на деревинну сировину.

References

1. **Bekhta P.A.** (2003). Технологія деревинних композиційних матеріалів / Technology of wood composite materials. Kyiv: Osnova. – 336 p. in Ukrainian).
2. **Bekhta P.A.** (2004). Технологія деревинних плит і пластиків / Technology of wooden plates and plastics. Kyiv: Osnova, – 780 p. (in Ukrainian).
3. **Bytko M.M., Boyko V.V., Arkhangelska N.O.** (2008). Арболіт – прогресивний будівельний матеріал сучасності / Arbolit is a progressive modern building material. Bulletin of ChSTU 4:76-78. (in Ukrainian).
4. **Gayda S.V.** (2000): Матеріали для виготовлення виробів з деревини / Materials for the Production of wood Productss. Lviv: BMC. – 160 p. (in Ukr.).
5. **Gayda S.V.** (2007): A problem of arboreal raw material is in Europe and Ukraine. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 33:55-63 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42073312>
6. **Gayda S.V.** (2011): The investigation of physical and mechanical properties of wood particleboards made from post-consumer wood. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 37(2):95-110. doi: <https://doi.org/10.36930/421137221>
7. **Gayda S.V.** (2013): Основи формування класифікатора вторинних деревинних ресурсів / *Osnovy formuvannya klasyfikatora vtorynnykh derevyunnykh resursiv* [Bases of secondary wood resources classifier formation]. *Scientific Works of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine* 11:208-215 (in Ukrainian).
8. **Gayda S.V.** (2018). Strength of combined blockboard made of post-consumer wood (PCW). Bulletin of KhNTUA 197:3-9, (in Ukrainian).
9. **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).
10. **Gayda S.V.** (2023). Determination of the circularity indicator in the forest sector according to the principles of the circular economy. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry, 49, 99-114. <https://doi.org/10.36930/42234908> (in Ukrainian).
11. **Gayda S.V.** (2023). State and analysis of the dynamics indicators of the production volume of the wood-working and furniture industry. Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry 49: 4-19 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42234901>

12. Gayda S.V. (2024). Analysis of the trend of the main indicators of the wood processing industry in the context of the circular economy. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 50: 4-15 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.36930/42245001>
13. 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)
14. Gayda S.V., Kiyko O.A. (2021). Властивості вживаної деревини як визначальний чинник якості меблевих виробів / *Vlastyvosti vzhuvanoyi 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>
15. Gayda S.V., Kiyko O.A. (2023). Study of Physical and Mechanical Properties of Post-Consumer Wood of Different Age. *Drewno. Prace naukowe. Doniesienia. Komunikaty*, 66(212), 00010. <https://doi.org/10.53502/wood-177453>.
16. Gayda S.V., Kiyko O.A., Guz, M.M. (2022). Research of the structure of stump and rootwood for effective use in the production of wood products. *Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry*, 2022, Vol. 64 (3), 131–142, doi: <https://doi.org/10.2478/ffp-2022-0011>
17. Gayda S.V., Maksymiv V.M. From recycled post-consumer wood towards prime quality particleboard / Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть // міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2010, вип. 36. – С. 57-77. doi: <https://doi.org/10.36930/42103610>
18. Gayda S.V., Nikityuk L.O. (1998). До питання застосування екстрагованої деревини для плитного виробництва [On the issue of using extracted wood for slab production]. *Scientific Bulletin of UNFU* 8:75-77. (in Ukrainian).
19. Kopanskyi M.M. (2014). Production of wood-based composites made from rape straw wastes. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry* 40: 20-22.
20. Гайда С.В., Максимів В.М., Кійко О.А., Ференц О.Б. Залишки деревини та деревина після споживання. Класифікація. Терміни та визначення / Договір № 08.24-11-1: проект міжнародного стандарту ISO. – Львів: НЛТУ України. – 2013. – 53 с.

UDC 674-419.33:674.8

Assoc. prof. M.M. Kopanskyi, PhD

of Technical Sciences; prof. R.O. Kozak, Doctor of Technical Sciences; assoc. prof.

I.I. Kusniak, PhD of Technical Sciences – UNFU

CHARACTERISTICS OF WOOD COMPOSITES BASED ON ROPE STEM AND MINERAL BINDER

The dependence of the physical and mechanical characteristics of arbolite products on the specific content of rapeseed particles and mineral binder in the original composition was established. The results were obtained, which ensure the establishment of patterns of influence of technological parameters on the properties of wood composite material made using rapeseed waste. The main factors affecting the strength of the material are substantiated, in particular, the content of water-soluble substances in the lignocellulosic filler, the adhesion of the filler to the cement binder, the strength of the filler, the activity of cement and its consumption per 1 m³ of this material. It was found that the increased content of mineral substances in rapeseed stalks has a positive effect on adhesion with mineral binders. It was found that the presence of highly porous internal parenchyma tissue in rapeseed stalks makes it possible to use it with a content of more than 35% in the chip mass for the production of heat-insulating wood composite materials based on a mineral binder. It has been experimentally proven that wood composite materials made by conventional technology, with the addition of wood particles to the composite materials up to 35% of rapeseed particles, have mechanical indicators that meet the requirements of the state standard DSTU EN 312-2:2003. Methods of manufacturing composite materials based on mineral binder using rapeseed waste are proposed, which make it possible to expand the raw material base for the production of these materials thanks to the involvement of biomass of agricultural production – rapeseed raw material, reduce the cost of arbolite and, accordingly, save valuable wood raw materials.

Keywords: biomass, post-consumer wood, rapeseed particles, arbolite, binder, composition, technology, strength, gluing, adhesion, recycling, residues, waste, circular economy, economic efficiency.