

Розділ 2

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ДІАГНОСТИКА РОБОТИ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ І КОНСТРУКЦІЙ

УДК 674.815

ВПЛИВ ХІМІЧНИХ ДОБАВОК ІЗ РІДКОГО НАТРІЄВОГО СКЛА І ХЛОРИДУ КАЛЬЦІЮ НА МІЦНІСТЬ АРБОЛІТУ

Р. Козак, д. т. н.

ORCID ID: 0000-0003-1297-9810

І. Кусняк, к. т. н.

ORCID ID: 0000-0003-3980-3110

М. Копанський, к. т. н.

ORCID ID: 0000-0002-3897-4818

І. Рутковська, к. т. н.

ORCID ID: 0009-0009-9051-5086

Р. Салабай, к. т. н.

ORCID ID: 0009-0001-9820-652X

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів

<https://doi.org/10.31734/architecture2025.26.018>

Козак Р., Кусняк І., Копанський М., Рутковська І., Салабай Р. Вплив хімічних добавок із рідкого натрієвого скла і хлориду кальцію на міцність арболіту

Досліджено вплив хімічних добавок із рідкого натрієвого скла і хлориду кальцію на міцність арболіту. Для досліджень виготовляли арболітові блоки розміром 100×100×100 мм з подрібненої деревини, портландцементу марки М400, води і хімічних добавок – хлориду кальцію та рідкого скла натрієвого. Хімічні добавки додавали до арболітової композиції кількістю 4, 6, 8, 10, 12 і 14 г окремо кожна і в суміші 1:1. Експериментальні арболітові блоки виймали з форми після трьох діб витримки та випробовували на міцність під час стикання після витримки 7 і 14 діб. Встановлено швидке зростання показників міцності залежно від вмісту хімічних добавок від чотирьох до 10 г, які потім сповільнюються і стабілізуються. За вмісту добавок 10 г міцність арболіту на стиск становить: для арболіту з умістом рідкого натрієвого скла 1,49 МПа; хлориду кальцію – 1,87 МПа; суміші рідкого натрієвого скла і хлориду кальцію – 2,37 МПа. Проте така ефективність застосування суміші нівелюється здатністю її кристалізуватися, що утруднює приготування арболітової композиції. Збільшення вмісту рідкого натрієвого скла із 1,0 % до 3,0 % від маси цементу покращує міцність арболіту на 26,27 %. Подальше додавання рідкого натрієвого скла з 3,0 % до 4,2 % від маси цементу збільшує міцність арболіту лише на 1,9 %. Збільшення вмісту хлориду кальцію з 1,0 % до 3,0 % від маси цементу покращує міцність арболіту на 18,35 %. Подальше додавання хлориду кальцію з 3,0 % до 4,2 % від маси цементу також незначно збільшує міцність арболіту – лише на 1,0%. Збільшення вмісту суміші рідкого натрієвого скла і хлориду кальцію з 1,0 % до 3,0 % від маси цементу покращує міцність арболіту на 13,97 %. Подальше додавання суміші рідкого натрієвого скла і хлориду кальцію з 3,0 % до 4,2 % від маси цементу збільшує міцність арболіту лише на 0,4 %. Час витримки арболіту в періоді 7–14 діб позитивно впливає на його міцність. За вмісту добавок 10 г у період із 7 до 14 діб міцність арболіту на стиск зростає: для арболіту з умістом рідкого натрієвого скла з 1,29 МПа до 1,49 МПа; хлориду кальцію – з 1,67 МПа до 1,87 МПа; суміші рідкого натрієвого скла і хлориду кальцію – з 2,18 МПа до 2,37 МПа.

Ключові слова: деревинно-цементний композит, будівельний матеріал, полісахариди, міцність під час стискання, адгезійна міцність.

Kozak R., Kusniak I., Kopanskyi M., Rutkovska I., Salabai R. Influence of chemical additives including liquid sodium glass and calcium chloride on the strength of arbolite

The study examines the influence of chemical additives including liquid sodium silicate and calcium chloride on the strength of arbolite. For the experiments, arbolite blocks measuring 100×100×100 mm were produced using crushed wood, Portland cement grade M400, water, and chemical additives – calcium chloride and liquid sodium silicate. The additives were introduced into the arbolite mixture in amounts of 4, 6, 8, 10, 12, and 14 g, each separately and in a 1:1 mixture. The experimental blocks were demolded after 3 days of curing and tested for compressive strength after 7 and 14 days. The results showed a rapid increase in compressive strength with additive content ranging from 4 to 10 g, followed by a slowdown and

stabilization. At 10 g of additives, the compressive strength of arbolite was: 1.49 MPa with liquid sodium silicate, 1.87 MPa with calcium chloride, and 2.37 MPa with a mixture of liquid sodium silicate and calcium chloride. However, the efficiency of the mixture is offset by its crystallization tendency, which complicates the preparation of the arbolite composition. An increase in liquid sodium silicate from 1.0 % to 3.0 % of cement mass improved compressive strength by 26.27 %, while further addition up to 4.2 % increased it by only 1.9 %. An increase in calcium chloride from 1.0 % to 3.0 % improved strength by 18.35 %, while further addition up to 4.2 % increased it by only 1.0 %. A mixture of both additives from 1.0 % to 3.0 % improved strength by 13.97 %, while additional increase up to 4.2 % resulted in only a 0.4 % gain. The curing period of 7–14 days positively affected compressive strength. With 10 g of additives, compressive strength increased from 1.29 to 1.49 MPa with liquid sodium silicate, from 1.67 to 1.87 MPa with calcium chloride, and from 2.18 to 2.37 MPa with the mixture of both additives.

Keywords: wood-cement composite, building material, polysaccharides, compressive strength, adhesive strength.

Постановка проблеми. Перебуваючи у стані війни, житловий і промисловий фонд України зазнав і досі зазнає значних руйнувань. Тому швидке відновлення його є актуальною проблемою. Одночасно, відбудова має здійснюватися з урахуванням сучасних технологій із залученням ресурсощадних, екологічно чистих, енергозберігаючих будівельних матеріалів, до яких можна віднести арболіт.

Вартість арболіту, на перший погляд, може здатися високою порівняно з деякими іншими матеріалами, проте вартість готового будинку виявляється суттєво дешевшою, ніж під час будівництва з будь-якого іншого матеріалу за повної відповідності будівельним нормам. Економія утворюється за рахунок зменшення товщини стін, відсутності додаткових утеплювачів, полегшеного фундаменту, дешевизни обробки тощо.

У зарубіжному будівництві практика виготовлення і застосування легкого бетону типу арболіту використовується у США, Японії, Німеччині, Австрії, Швейцарії. Отримання однорідної суміші, складеної з різних за своїми фізико-хімічними властивостями матеріалів, є одним із найважливіших технологічних переділів у загальному ланцюзі виробництва бетонних виробів і конструкцій. Гомогенізація різних матеріалів в однорідну суміш є досить складним технологічним процесом, який залежить від сукупності факторів, зокрема властивості суміші, фізико-механічних властивостей початкових матеріалів, часу змішування і конструктивних особливостей змішувального апарату тощо. Поєднання оптимальних технологічних параметрів виготовлення арболіту з раціональними властивостями вихідних матеріалів зі залученням у виробництво промислових лігноцелюлозних відходів дасть змогу виготовляти будівельний матеріал меншої собівартості, із підвищеними механічними характеристиками, та покращувати екологічний стан довкілля.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сьогодні відомий значний асортимент деревинно-цементних композитів, зокрема арболіт, фіброліт,

цементностружкові плити, ксилоліт, тирсобетон тощо [3]. Розроблені й матеріали на основі цементу та найрізноманітніших лігноцелюлозних відходів сільського господарства. Ще у 1970-х роках Фонне [10] винайшов композит, змішуючи цементний розчин і соломку. У 1991 році Роффаель та Саттлер [14], а пізніше Роффаель [15], досліджували вплив суспензії рисової соломи на процес гідратації та фізичні властивості цементного розчину. В одному патенті та одній статті, опублікованій ще в 1995 році [9; 18], було представлено переваги, технологію приготування, специфікації продукту та технічні властивості композитної плити з рослинного волокна та цементу. Протягом наступних десяти років конкретні виробничі процеси залишалися майже незмінними [12]. Останнім часом через значне забруднення навколишнього середовища активізувалися академічні дослідження лігноцелюлозних матеріалів [4; 8; 11; 13]. Через війну в Україні та значні руйнування житлової та промислової забудови інтерес до якісних, екологічно чистих, економічно рентабельних будівельних матеріалів також зростає.

Зміною компонентів композиції та співвідношення між компонентами можна отримати будівельні матеріали з різними фізико-механічними властивостями [3].

Арболіт – різновид легкого бетону, деревинно-цементний композит, який використовується у малоповерховому будівництві [1] та має низку хороших властивостей, чим вирізняється з-поміж інших будівельних матеріалів (табл.) [2].

У 2015 році Чжан [17] використав програмне забезпечення для моделювання споживання енергії будівлею DeST (Designer's Simulation Toolkit) для аналізу впливу матеріалу стіни на споживання енергії будівлею. Порівняно із звичайною бетонною, цегляною, кам'яною та іншими типами стін, середньорічне споживання енергії бетонно-солом'яним сендвіч-блоком було найменшим і досягло найбільшої економії енергії та захисту навколишнього середовища.

Окремі експлуатаційні властивості будівельних матеріалів [13]

Властивості / матеріали	Арболіт	Газоблок	Керамзитний блок	Дерево
Горіння	Не підтримує полум'я	Не підтримує полум'я	Не підтримує полум'я	Горить
Міцність на вигин	Пружний	Крихкий	Крихкий	Пружне
Потреба утеплення	Не вимагає	Не вимагає	Вимагає утеплення	Вимагає утеплення
Усадка стін	Не дає усадки	Не дає усадки	Не дає усадки	Дає усадку
Біостійкість	Не піддається гниттю	Не піддається гниттю	Не піддається гниттю	Гниє
Бій у процесі перевезення	Без бою	До 15 %	До 10 %	Без бою

Однак суттєвим недоліком арболіту є недостатня його міцність під час стискання, що не дозволяє використовувати його для багатоповерхового будівництва. Тому збільшення міцності арболіту під час стискання – актуальне завдання дослідження, адже розширить його використання в будівництві та дасть змогу зменшити вплив на довкілля, шляхом утилізації лігноцелюлозних відходів.

Одним із факторів, які визначають міцність арболіту, є міцність з'єднання різних частинок, тобто адгезійна міцність. Застосування мінерального в'язучого – цементу й органічного наповнювача – лігноцелюлозних частинок під час формування арболітових блоків супроводжується хімічними реакціями між цементним тістом і полісахаридами та екстрактивними речовинами таких частинок. Такі хімічні реакції негативно впливають на адгезійні зв'язки між компонентами арболітової суміші та, як наслідок, зменшують міцність арболіту [3]. Зменшення негативного впливу полісахаридів і екстрактивних речовин, які містяться в лігноцелюлозних частинках, залишається актуальним.

Додавання хімічних добавок до арболітової суміші, поряд з іншими заходами, які зменшують вплив полісахаридів на твердіння цементу, найдоцільніше і широко практикується [1]. Відома велика кількість таких добавок, однак кожна з них має свій, відмінний від інших, вплив на реакції твердіння цементу та, в кінцевому результаті, на міцність арболіту.

У 1992 році Соуза [16] досліджував вплив вуглекислого газу на виробництво деревних плит на основі цементу. У 2007 році Менг [5] виготовив блок рослинного волокна на основі цементу. Міцність на стиск та міцність на згин помітно зростали, коли вміст поверхневого модифікатора у волокні становив 6–8 %.

У 2012 році Ян та інші [6] провели порівняльний аналіз впливу модифікації волокон пшеничної соломи (замочування в розчині з масовою часткою 5 % гідроксиду натрію протягом 12 годин) на механічні властивості, час тужавлення та плинність свіжого цементного тіста. Встановлено, що немодифіковані волокна збільшують плинність цементного тіста і час тужавління; проте модифіковані волокна мають протилежний ефект.

У 2011 році Ма [7] досліджував вплив добавок (суміш з 1 % хлориду кальцію, 1 % сульфату алюмінію або комбінацією 0,5 % хлориду кальцію та сульфату алюмінію) для раннього зміцнення порожнистих блоків зі соломи і звичайного портландцементу. Додавання хлориду кальцію або сульфату алюмінію може пом'якшити вплив соломи на тужавління портландцементу. Ці речовини реагують із продуктами гідратації цементу, збільшуючи щільність композитного матеріалу та значно покращуючи міцність на стиск і згин невеликого порожнистого блоку.

Незважаючи на велику кількість хімічних речовин і методів їх застосування у виробництві цементно-лігноцелюлозних композитних матеріалів, залишається не до кінця з'ясованим вплив конкретних хімічних добавок на їхню міцність. Тому визначення впливу хімічних добавок на міцність арболіту актуальне.

Постановка завдання. Наше завдання – встановити вплив хімічних добавок із рідкого натрієвого скла, хлориду кальцію та їхньої суміші на міцність арболіту під час стискання та виявити раціональні їх витрати. Методи досліджень – класичний експеримент, метод випробувань навантажуванням, метод визначення міцності на стиск, метод обробки експериментальних даних.

Для проведення досліджень використовували такі матеріали: деревинний наповнювач (подрібнена деревина) розміром $40 \times 10 \times 5$ мм з вмістом кори не більше ніж 10 %, хвої і листя не більше ніж 5 %; мінеральне в'язуче (портландцемент М400); хімічні добавки (хлорид кальцію CaCl_2 і плівкоутворювач рідке скло натрієве); воду. Хімічні добавки додавали до арболітової суміші в кількості 4, 6, 8, 10, 12 і 14 г. Добавки вводили розчиненням їх у воді, яку потім додавали в суміш. Приготовлену арболітову масу вкладали у форму у два-три прийоми, пошарово з трамбуванням кожного шару за допомогою спеціального пристро-

сування. Виготовляли три зразки арболіту марки М 25 розміром $100 \times 100 \times 100$ мм (рис. 1).

Сформовані зразки витримували у формах протягом трьох днів. Після цього їх виймали з форм і витримували до випробування за температури $15\text{--}20^\circ\text{C}$. У віці семи і 14-ти діб зразки випробовували на міцність під час стискання, що є одним із важливих показників міцності арболіту, від якого залежить його несуча здатність.

Для з'ясування впливу вмісту хімічних добавок в арболітовій суміші на міцність під час стискання здійснювали числову обробку отриманих результатів досліджень та будували графічні залежності (рис. 2).

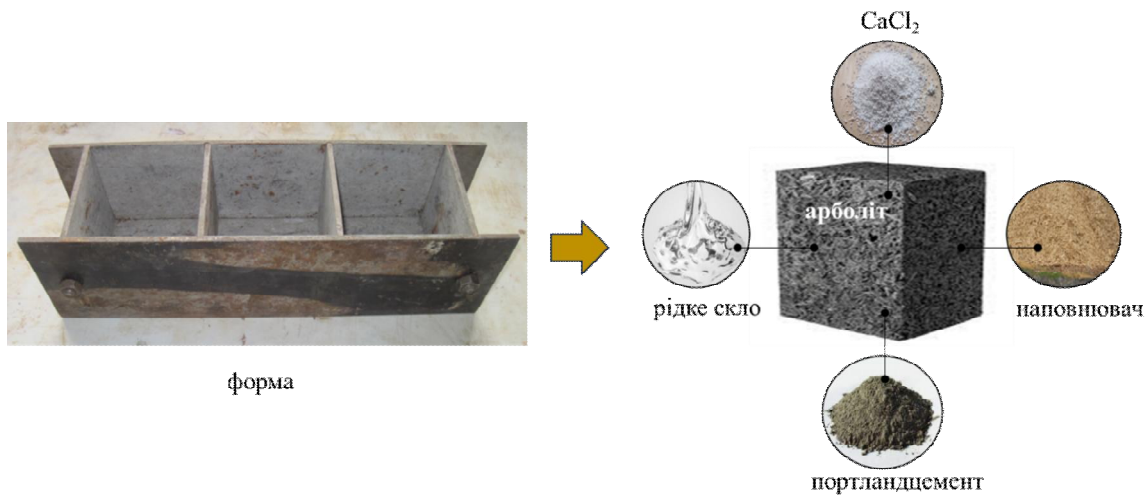


Рис. 1. Склад і вигляд арболіту

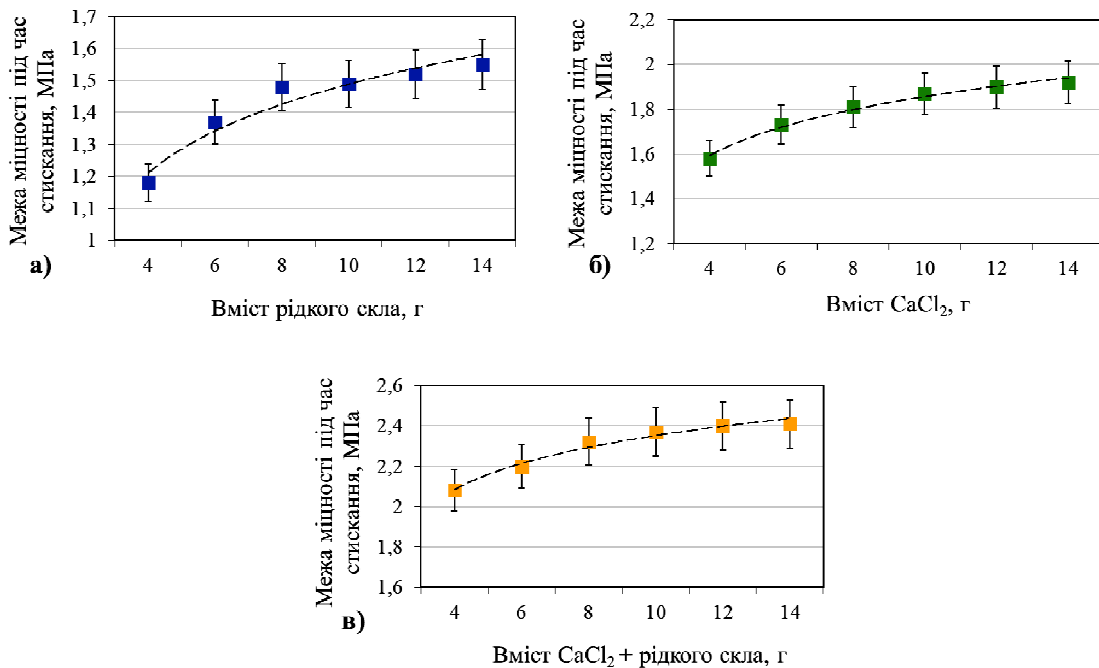


Рис. 2. Вплив вмісту хімічних добавок на міцність арболіту під час стискання: а) рідкого скла; б) хлориду кальцію; в) суміші добавок

Результати досліджень на рис. 2 добре описуються степенною функцією, яка демонструє швидке зростання показників міцності залежно від вмісту хімічних добавок від 4-х до 10 г, які потім сповільнюються і стабілізуються.

За вмісту добавок 10 г міцність арболіту на стиск після 14-ти діб витримки становить: для арболіту з умістом рідкого натрієвого скла 1,49 МПа; хлориду кальцію – 1,87 МПа; суміші рідкого натрієвого скла і хлориду кальцію – 2,37 МПа. Проте така ефективність застосування суміші хімічних добавок нівелюється здатністю її кристалізуватися, що ускладнює приготування арболітової композиції.

Під час збільшення в арболіті кількості хімічних добавок від 4-х до 10 г (1,0–3,0 % від маси цементу) міцність під час стискання зростає залежно від вмісту рідкого натрієвого скла на 26,27 %, хлориду кальцію – 18,35%, і суміші добавок – 13,94 %. Тоді як за вмісту 12–14 г (3,6–4,2 % від маси цементу) міцність під час стискання не суттєво відрізняється і зростає залежно від кількості рідкого скла на 1,9 %, хлориду кальцію – 1,0 % і суміші добавок – 0,4 %. Отже, подальше

збільшення кількості хімічних добавок в арболіті є економічно недоцільним, адже з підвищенням їх витрати зростає його собівартість.

Результати впливу вмісту хімічних добавок на міцність твердіння арболіту в періоді від семи до 14-ти діб наведено на рис. 3.

Час витримки арболіту в періоді 7–14 діб позитивно впливає на його міцність. За вмісту добавок 10 г у період із 7-ми до 14-ти діб міцність арболіту на стиск зростає: для арболіту з умістом рідкого натрієвого скла з 1,29 МПа до 1,49 МПа; хлориду кальцію – з 1,67 МПа до 1,87 МПа; суміші рідкого натрієвого скла і хлориду кальцію – з 2,18 МПа до 2,37 МПа.

Більшу ефективність хлориду кальцію порівняно з рідким натрієвим склом можна пояснити тим, що він належить до групи прискорювачів твердіння і під час додавання в арболітову композицію взаємодіє з водорозчинними речовинами деревини, зменшуючи їх шкідливий вплив на цемент. Використання суміші хімічних добавок ефективне щодо зростання міцності арболіту, але вимагає заходів із запобігання її кристалізації.

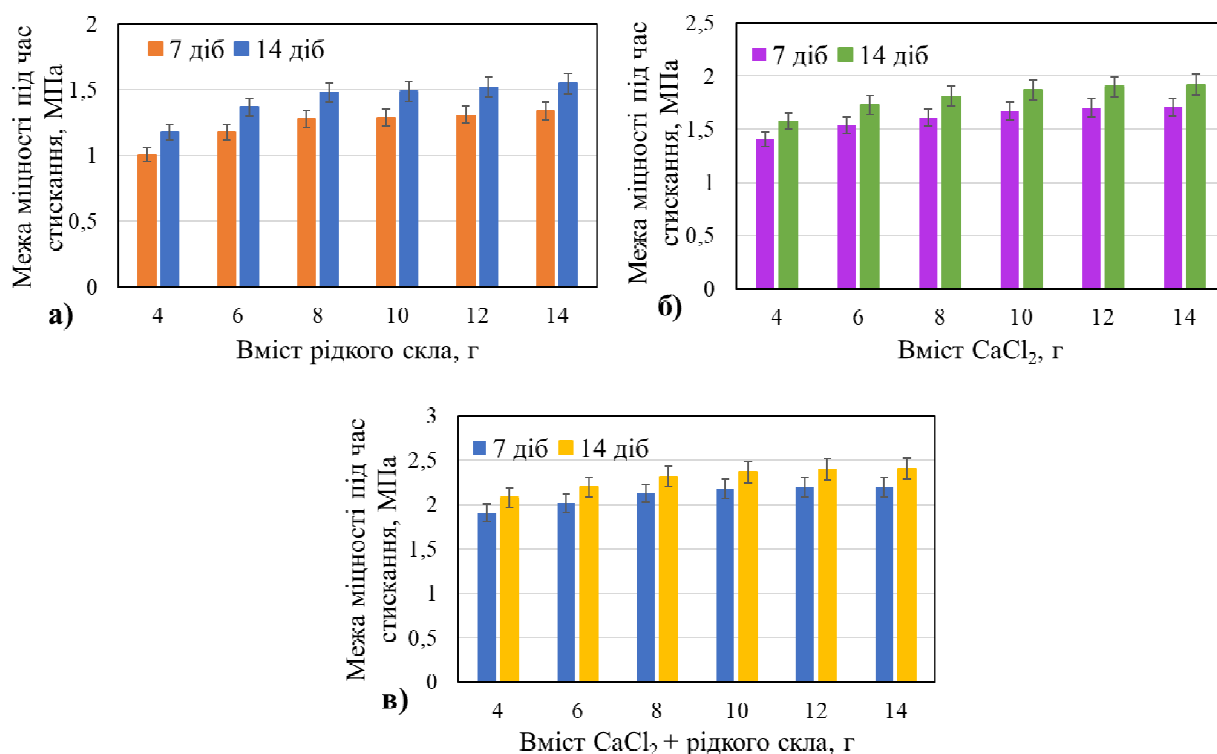


Рис. 3. Вплив вмісту хімічних добавок на міцність арболіту в періоді від семи до 14-ти діб: а) рідкого скла; б) хлориду кальцію; в) суміші добавок

Висновки. Додавання хімічних добавок до арболітової суміші дозволяє нейтралізувати шкідливі речовини і суттєво пришвидшити процес

твердіння арболіту. За вмісту добавок 10 г міцність арболіту на стиск після 14-ти діб витримки становить: для арболіту з умістом рідкого натрієвого

скла 1,49 МПа; хлориду кальцію – 1,87 МПа; суміші рідкого натрієвого скла і хлориду кальцію – 2,37 МПа. Проте така ефективність застосування суміші має суттєвий недолік – здатність кристалізуватися, що викликає значні труднощі у приготуванні арболітової композиції.

Вміст рідкого натрієвого скла в кількості 3,0 % від маси цементу покращує міцність арболіту на 26,27 % порівняно з додаванням 1,0 % від маси цементу. Подальше додавання рідкого скла в кількості 3,6–4,2 % від маси цементу збільшує міцність цементу лише на 1,9 % порівняно з результатом у 3,0 % від маси цементу. Вміст хлориду кальцію в кількості 3,0 % від маси цементу покращує міцність арболіту на 18,35 % порівняно з додаванням 1,0 % від маси цементу. Тоді як у кількості 3,6–4,2 % від маси цементу також не дає помітного поліпшення порівняно з результатом у 3,0 % від маси цементу (збільшення міцності на 1,0 %). Збільшення вмісту суміші рідкого натрієвого скла і хлориду кальцію з 1,0 % до 3,0 % від маси цементу покращує міцність арболіту на 13,97 %. Подальше додавання суміші рідкого натрієвого скла і хлориду кальцію з 3,0 % до 4,2 % від маси цементу збільшує міцність арболіту лише на 0,4 %.

Час витримки арболіту в періоді 7–14 діб позитивно впливає на його міцність. За вмісту добавок 10 г у період із 7-ми до 14-ти діб міцність арболіту на стиск зростає: для арболіту з умістом рідкого натрієвого скла з 1,29 МПа до 1,49 МПа; хлориду кальцію – з 1,67 МПа до 1,87 МПа; суміші рідкого натрієвого скла і хлориду кальцію – з 2,18 МПа до 2,37 МПа.

Отже, досліджувані хімічні добавки позитивно впливають на міцність арболіту, і додавання їх в арболітову композицію доцільне.

Бібліографічний список

1. ДСТУ Б В.2.7-271:2011 Арболіт та вироби з нього. Загальні технічні умови (ГОСТ 19222-84, MOD). Чинний від 2012-12-01. Київ: Мінрегіон України, 2012.
2. Арболіт для будівництва будинку: за та проти. *Dniprobud*. URL: <https://dniprobud.com.ua/ua/articles/arbolit-dlya-stroitelstva-doma> (дата звернення: 20.01.2025).
3. Бехта П. А. Технологія деревинних композиційних матеріалів: навч. посібник. Київ, 2003. 336 с.

4. Копанський М. М., Козак Р. О., Кусняк І. І. Характеристики деревинних композитів на основі стебел ріпаку та мінерального в'язучого. *Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість*. 2024. Вип. 50. С. 94–104. <https://doi.org/10.36930/42245008>.

5. Meng H. R. Research on Performance of Ecological Lightweight Cement-Based Wall Materials & Elasto-Plastic Analysis Model of Multi-Ribbed Wall. PhD thesis, School of Civil Engineering, Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an, China. 2007.

6. Yan L., Zhao Y., Yang J., Yang Z., Zhao S. Effect of wheat straw fiber on performance of cement paste. *Concrete*. 2012. Vol. 2. P. 60–62.

7. Ma SW. Effect of straw content on mechanical properties of cement based hollow block. *Guangdong Building Materials*. 2011. Vol. 9. P. 32–34.

8. Cheng G. L., Zhou Z. M., Yao G., Yu J., Kuang Y. Study and application of the construction technology of straw magnesium cement. *Chongqing Architecture*. 2008. Vol. 11 (11). P. 34–36.

9. Dong R. Production technology of straw fiber board. *Journal of Agricultural Engineering*. 1995. Vol. 20 (20). P. 10.

10. Fonne G. J. Portland Cement/Org Fibre/Fertilizer Mixes – Growing Medium for the Recovery and Stabilisation of Soils, 1975. German Patent DE2406968.

11. Jiang C., Yang R., Wei J., Zhao Y., Chen S. Design of molding machine of the straw facing wall brick and its application analysis. *Building Energy Efficiency*. 2015. Vol. 43 (3). P. 56–64.

12. Jinxiang Ch., Elsafi MAE, Tao Y., Yizhe R., Zhensheng G., Shuyang L. Research progress of wheat straw and rice straw cement-based building materials in China. *Magazine of Concrete Research*. 2018. Vol. 70 (2). P. 84–95.

13. Qu H. X., Pan S. X., Zhang G. Z., Liao S. H. Develop new-type straw fiber walling material with local supplies. *Anhui Architecture*. 2009. Vol. 2(2). P. 39–40.

14. Roffael E., Sattler H. Studies on the interaction between lignocellulosics (straw pulps) and cement. *Holzforschung*. 1991. Vol. 45 (5). P. 445–454.

15. Roffael E. Significance of wood extractives for wood bonding. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2016. Vol. 100 (4). P. 1589–1596.

16. Souza M. R. Effect of Carbon Dioxide Gas in Manufacturing Cement-Bonded Particleboard. *MS thesis, University of Idaho, Moscow, ID, USA*. 1992.

17. Zhang H. J. Straw Concrete Block Pilot Building Heat Preservation Performance Study. *Shandong Agricultural University, Shan Dong, China*. 2015.

18. Zhou W. Q., Qiu C. L., Zhen M. L., Yang Q. Q. Production Method of Annual Plant Fiber Cement Composite, China. 1992. Chinese Patent CN1066018, Nov.

Стаття надійшла 15.02.2025