

РОЗДІЛ V. БУДІВНИЦТВО ТА ГЕОДЕЗІЯ

DOI: 10.25140/2411-5363-2023-2(32)-340-354
УДК 620.28:[628.4.038:621]

**Ярослав Ляшок¹, Сергій Подкопаєв², Олексій Повзун³,
Світлана Вірич⁴, Валерій Калиниченко⁵**

¹доктор економічних наук, професор, ректор
Донецький національний технічний університет (Луцьк, Україна)
E-mail: iaroslav.liashok@donntu.edu.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7643-8485>. ResearcherID: [M-9725-2019](https://orcid.org/0000-0002-7643-8485)

²доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи
Донецький національний технічний університет (Луцьк, Україна)
E-mail: prof.s.podkopaiev@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3258-9601>. ResearcherID: [B-7422-2019](https://orcid.org/0000-0002-3258-9601)

³кандидат технічних наук, доцент кафедри прикладної механіки
Донецький національний технічний університет (Луцьк, Україна)
E-mail: povzun.aleksey@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8183-9585>. SCOPUS Author ID: [57215584638](https://orcid.org/0000-0001-8183-9585)

⁴кандидат технічних наук, завідувачка кафедри прикладної механіки
Донецький національний технічний університет (Луцьк, Україна)
E-mail: svitlana.viryich@donntu.edu.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4734-345X>
SCOPUS Author ID: [57210125718](https://orcid.org/0000-0003-4734-345X)

⁵кандидат технічних наук, доцент кафедри прикладної механіки
Донецький національний технічний університет (Луцьк, Україна)
E-mail: kvv157@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0598-8076>. SCOPUS Author ID: [57215577915](https://orcid.org/0000-0002-0598-8076)

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИЙ МАТЕРІАЛ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ЛИВАРНОГО ВІДХОДУ МАШИНОБУДІВНОГО ВИРОБНИЦТВА

У роботі надано технологію ніздрюватого бетону із застосуванням як кремнеземистий компонент ливарного відходу – кондиційованих відпрацьованих формувальних сумішей ливарного виробництва машинобудівних підприємств. За показниками кратності і стійкості піни, а також за впливом складових ніздрюватобетонних сумішей на утворення пор у матеріалі визначено найефективніший піноутворювач. Встановлено оптимальний режим тепловологісної обробки пінобетонних зразків. Обґрунтовано відповідність досліджуваного пінобетону на основі відходу ливарних цехів машинобудівних заводів вимогам державних стандартів України.

Ключові слова: відпрацьовані формувальні суміші; піноутворювач; кратність і стійкість піни; пінобетон.
Рис.: 3. Табл.: 2. Бібл.: 24.

Актуальність теми дослідження. Законом України «Про енергетичну ефективність будівель» [1] визначено, що для поступового підвищення енергетичної ефективності будівель необхідно збільшити кількість будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії [2]. Виконання Національного плану з підвищення кількості таких будівель на 2020-2030 роки передбачено у два етапи [2]:

- I етап (2020-2025 роки) – подолання технічних, організаційних та фінансових проблем на шляху збільшення кількості енергонезалежних будівель;
- II етап (2025-2030 роки) – перехід до обов'язкового дотримання стандартів енергонезалежних будівель щодо всіх об'єктів будівництва та будівель, у яких здійснюється реконструкція [2].

Будівлі в Україні за енергетичною ефективністю поділяють на сім класів (класи А, В, С, D, E, F, G; до класу А належать будівлі з найвищою енергоефективністю, до класу G – з найнижчою енергоефективністю) [3]. Клас енергетичної ефективності будівель визначають як відсоткову різницю між загальним і граничним показниками питомого енергоспоживання при опаленні та охолодженні. Енергонезалежні будівлі повинні відповідати класу енергетичної ефективності не нижче класу «А» [2].

Як і в країнах Європейського Союзу в Україні з метою заощадження енергії і природних ресурсів застосовують нові засади під час проектування енергоефективних будівель. Тому виникає потреба створювати та удосконалювати низькоенергоємне виробництво теплоізоляційних і конструкційно-теплоізоляційних енергоефективних стінових матеріалів. Під «енергоефективними матеріалами» розуміють матеріали, які

сприяють споживанню найменшої кількості енергії за прийнятого рівня енергетичного забезпечення будівель або технологічних процесів на виробництві [1].

Клас енергоефективності (A, B, C, D, E, F, G) теплоізоляційного матеріалу або виробу встановлюється згідно зі значенням показника енергоефективності, який є сумою критеріїв теплопровідності матеріалу, дифузії водяної пари, повітропроникності матеріалу, теплової надійності матеріалу, стійкості матеріалу до механічних навантажень [4].

Постановка проблеми. В Україні житлові будинки споживають до 60 % виробленої енергії, що у 5-6 разів більше на м² експлуатованої площі, ніж у країнах ЄС [5]. Одним зі заходів забезпечення виконання основної вимоги щодо економії енергії та енергетичної ефективності є проєктування конструктивних рішень елементів теплоізоляційної оболонки будівель з урахуванням змін теплофізичних характеристик матеріалів в процесі експлуатації виробів [6].

На сьогодні в Україні і світі будівельна галузь висуває високі вимоги до будівельних матеріалів. У зв'язку з необхідними підвищеними значеннями приведенного опору теплопередачі огорожувальних конструкцій житлових і громадських будівель [7] дедалі більшого поширення набувають технології енергоефективних матеріалів (зі зменшеними затратами паливно-енергетичних ресурсів), які скорочують втрати тепла через огорожувальні конструкції. Матеріали з меншою собівартістю виробництва (відповідно і зі зменшеною ринковою вартістю) є більш конкурентоспроможними (і тому вони заслуговують на особливу увагу).

В Україні проблема відходів вирізняється масштабністю і значущістю внаслідок домінування в національній економіці ресурсоємних багатовідхідних технологій. Широкі масштаби ресурсокористування та енергетично-сировинна спеціалізація національної економіки визначають високі показники утворення та накопичення відходів [8; 9]. На жаль, в Україні спостерігається низький рівень заміщення первинних природних ресурсів внаслідок використання відходів виробництва чи побічних продуктів [8].

Використання промислових відходів та вторинних сировинних ресурсів в енергоощадних технологіях будівельних матеріалів сприятиме зниженню собівартості їх виробництва і є ефективним засобом у боротьбі із забрудненнями навколишнього середовища. Зокрема, утилізація відпрацьованих формувальних сумішей ливарного виробництва машинобудівних заводів дозволить скоротити земельні площі, зайняті цим відходом; знизити розповсюдження пилу з поверхні відвалів на прилеглі до них території; зменшити транспортні витрати на вивезення відходу до відвалів; поліпшити екологічну ситуацію в регіоні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Огорожувальні конструкції стандартних будинків мають досить великий коефіцієнт теплопередачі. Це призводить до значних втрат: наприклад, тепловтрати звичайного цегляного будинку становлять 250-350 кВт/год з м² опалювальної площі за рік [10]. Енергозатратні при виробництві й не енергоефективні під час експлуатації традиційні стінові матеріали (цегла керамічна, керамзитобетон, керамзит) витиснені з будівельного ринку через постійне подорожчання енергоносіїв та підвищені значення термічного опору теплопередачі огорожувальних конструкцій [7].

Американський вчений Девід Орт (David Orr) сформулював принципи проєктування і зведення енергоефективної будівлі [11]. Основними складовими пасивного будинку (будинку з наближеним до нульового рівнем споживання енергії) з дотриманням високих стандартів енергоефективності є:

- застосування матеріалів і конструкцій з максимальним опором теплопередачі для скорочення непродуктивних втрат тепла;
- організація припливно-витяжної вентиляції з використанням рекуператорів, що споживають тепло викидного повітря для обігріву, що потрапляє ззовні;
- вживання природних джерел енергії для опалення і гарячого водопостачання (енергії сонця, вітру, термальних підземних джерел).

Відновлення багатотоннажних промислових відходів для виробництва енергоефективних матеріалів сприяє розширенню сировинної бази, економії традиційної сировини, скороченню витрат на виробництво і зниженню цін на будівельні матеріали. Нині на відходи ливарного виробництва припадає більша частина промислових відходів [12]. 90 % твердих відходів ливарних цехів машинобудівних заводів становлять відпрацьовані формувальні та стержневі суміші (горіла земля, горілий пісок), що після вибивання форм не можуть бути використані повторно і вивозяться у відвали, які займають великі земельні площі [13]. Так, для виробництва 1 тонни чавунних виливків витрачається близько 6 тонн формувальних матеріалів (у відвал вивозиться 0,7-1,2 т відпрацьованих сумішей) [14].

Слід зазначити, що вільних місць для складування відходів поблизу підприємств практично немає, а для організації нових відвалів необхідно виділяти нові земельні угіддя. Тому доцільне запровадження ресурсозберігаючої технології – організація технологічного процесу сумішеприготування з використанням відпрацьованих формувальних і стержневих сумішей [15].

Перспективними напрямками розвитку ливарного виробництва є застосування регенерації відпрацьованих сумішей на місцях їх утворення з поверненням (до 95 %) у виробництво, розроблення екологічно безпечних і безвідходних технологічних процесів та обладнання. Основною метою регенерації є відновлення зернового складу горілого піску і видалення плівок зв'язуючого з поверхні його зерен. Найбільше поширення для регенерації, наприклад, холоднотверднучих сумішей набули механічний (вибивання форми, дроблення спечених грудок суміші, охолодження регенерату, пиловидалення) і термомеханічний способи.

Для виготовлення холоднотверднучих сумішей з використанням смоли ОФОС (олігомер на основі олігофурфурилоксисилоксанів) доцільно використовувати збагачений пісок зі вмістом глинистої складової не більше ніж 0,2-0,5 % і основною фракцією піску 0,2-0,315 мм [16]. Міцність сумішей на основі відпрацьованої суміші нижче, ніж на основі свіжого піску. Підвищити міцність таких сумішей можна за рахунок збільшення процентного вмісту смоли та каталізатора [16].

Першорядними критеріями придатності застосування відходу як будівельний матеріал та мінеральну сировину є його радіаційно- та санітарно-гігієнічні параметри. Встановлено [12], що ефективна питома активність природних радіонуклідів у відпрацьованих формувальних сумішах ливарного виробництва становить менше за 370 Бк·кг⁻¹. Згідно з Нормами радіаційної безпеки України НРБУ-97 зазначений відхід відноситься до I класу (тобто його можна використовувати без обмежень для всіх видів будівництва), а за ступенем токсичності – до IV класу небезпеки [17] (тобто є малонебезпечним відходом).

Відвальні ливарні суміші можна використовувати для виробництва безклінкерного шлакового в'язучого, цегли, як компонент сировинної суміші для виготовлення керамічних виробів з тугоплавких глин [18], [19].

За гранулометричним складом значення повних залишків на ситах відпрацьованих формувальних сумішей ливарного виробництва не входять в оптимальну область якісного дрібного заповнювача для важких цементних бетонів. Ці суміші характеризуються підвищеними пустотністю і вмістом пиловидних та глинистих частинок, що призводить до додаткової водопотреби бетонних і розчинних сумішей і зниження міцнісних властивостей. Застосування формувальних сумішей у важких цементних бетонах і розчинах для часткової або повної заміни кварцового піску дозволяє досягти проектних марок за міцність на стиск та вигин без підвищення витрати цементу. Введення у важкі бетони і розчини на основі формувальної суміші пластифікатора С-3 збільшує їх міцнісні показники на 50-75 %, що дає можливість скоригувати витрату цементу у бік його зниження [12].

Відпрацьовані ливарні суміші використовують для влаштування підстильних шарів основ автомобільних доріг [18], а також як складову асфальтобетонних сумішей різних типів [20]. У технологічному процесі приготування пісків з формувальної суміші на Ха-

рківському тракторному заводі вживають мазут. Це призводить до гідрофобізації їх поверхні, про що, зокрема, свідчать значення коефіцієнта фільтрації цих пісків у 2,5-4,0 рази менші в порівнянні з необробленими. Унаслідок цього адгезія бітуму до поверхні формульованого піску становить 80-85 %, а природного – не більше 20 %. Асфальтобетони на основі таких пісків характеризуються підвищеною водостійкістю ($K_v^{28} = 0,80$), міцністю на стиск при 50 °С ($R_{50} = 1,50$ МПа), морозостійкістю ($F_{50} = 0,62$) і зсувостійкістю ($\tau = 0,21$ МПа). Схильність до старіння асфальтобетонів з використанням відпрацьованих формульованих пісків не вища, ніж асфальтобетонів зі звичайним природним піском [20].

Горілу землю застосовують також для влаштування пішохідних доріжок та майданчиків, розрахованих на невелике навантаження; як підсипку під фігурні елементи мощення [18], а також як баластний матеріал для вирівнювання рельєфу місцевості [19].

Аналіз публікацій та досвіду сучасного будівництва показує, що одним із високоефективних стінових матеріалів є ніздрюватий бетон різних видів [21].

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Технологічні параметри приготування ніздрюватобетонної суміші з використанням відпрацьованих формульованих сумішей ливарного виробництва не розроблено.

Метою статті є обґрунтування доцільності вироблення поризованого матеріалу на основі відпрацьованих формульованих сумішей ливарних цехів машинобудівних заводів.

Виклад основного матеріалу. Для досліджень прийнято матеріали: як кремнеземистий компонент ніздрюватобетонної суміші відхід ливарного виробництва Дружківського машинобудівного заводу (Донецька область) – відпрацьовані формульовані суміші (для порівняння фізико-механічних властивостей ніздрюватого бетону як кремнеземистий компонент використовували природний кварцовий пісок Часов'ярського родовища Донецької області); портландцемент марки ПЦ400А Краматорського цементного заводу-Пушка Донецької області; вапно Маріупольської Фірми «Азовбудматеріали»; піноутворювачі вітчизняних підприємств-виробників (білково-миловий концентрат – БМК; гідролізний тваринний білок – ПБК; поверхнево активні білкові речовини з функціональними і стабілізаційними добавками – Альпен-ПБ; на основі триетаноламінових солей алкілсульфатів – Софір-ПБ; смола деревна омилена – СДО; мийні засоби (відходи) – ВМЗ); вода для бетонів і розчинів.

Перероблення формульованих сумішей, які були у використанні, має за мету наблизити (відновити) властивості формульованих пісків у їх складі до властивостей свіжих пісків [13]. Перед приготуванням пінобетонної суміші відновлювали відпрацьовані формульовані суміші ливарного виробництва, тобто проводили їх кондиціонування, а саме:

- металеві вclusions (шпильки, бризки, краплі тощо) видаляли за допомогою магнітного сепаратора;
- вилучені з відпрацьованої суміші спечені грудки піддавали роздрібненню у шоківій дробарці, після чого суміш просіювали;
- після висушування розмелювання ливарного відходу провадили у лабораторному кульовому млині.

Регенерація відрізняється від кондиціонування тим, що під час неї обов'язково видаляють плівки зв'язувального компонента із зерен наповнювача [13].

Визначення піноутворювальної здатності розчину піноутворювача, кратності піноутворення, стабільності технічної піни

Технічна піна є дисперсною системою, яка містить комірочки – бульбашки газу (пари), що розділені плівками рідини або твердої речовини. Як зазвичай, газ (пара) розглядається як дисперсна фаза, а рідина або тверда речовина – як суцільне дисперсійне середовище. Технологічно перевагу мають піни з рідким дисперсійним середовищем.

Технічну піну готували диспергаційним способом, коли піна утворюється внаслідок інтенсивного спільного диспергування (збивання) піноутворювального розчину і повітря, у високооборотному лабораторному змішувачі впродовж двох хвилин. Для оцінювання піноутворювальних розчинів і приготованих із них пін вживали такі параметри, як об'єм та висоту стовпа піни за певних умов проведення експерименту, співвідношення об'єму або висоти стовпа до вихідного об'єму рідини, тривалість існування об'єму (висоти стовбура) піни тощо.

Визначали такі основні притаманні пінній системі властивості:

1. Піноутворювальна здатність розчину (пінність) – це кількість піни, виражене її об'ємом (в мл) або висотою стовпа (в мм), яка утворюється з постійного об'єму розчину під час дотримування визначених умов впродовж певного часу.

2. Кратність піноутворення (K), що характеризується коефіцієнтом кратності, який обчислюють як відношення об'єму піни до об'єму робочого розчину піноутворювача, з якого вона утворилася [22], за формулою $K = \frac{V_{\text{п}}}{V_{\text{р}}} = \frac{V_{\text{Г}} + V_{\text{р}}}{V_{\text{р}}}$, де $V_{\text{п}}$ – об'єм піни, м³; $V_{\text{Г}}$ – об'єм газу в піні, м³; $V_{\text{р}}$ – об'єм робочого розчину піноутворювача, м³.

Об'єм робочого розчину піноутворювача дорівнював 50-100 мл.

3. Стабільність (стійкість) піни – її здатність зберігати загальний об'єм, дисперсний склад протягом певного часу й перешкоджати витіканню рідини (синерезису). Часто як параметр стабільності піни застосовують час існування (життя) елемента піни (окремої бульбашки, плівки) або певного її об'єму.

Враховуючи те, що технологічно для одержання поризованого матеріалу необхідно, щоб максимальна тривалість існування піни до її зіткнення з іншими компонентами ніздрюватобетонної суміші становила дві хвилини, то її придатність оцінювали як «добра», «задовільна», «незадовільна». Стійкість піни визначали за такою методикою:

- відбирали 200 мл піни у мірний циліндр. Якщо впродовж двох хвилин об'єм не зменшився, то придатність піни «добра»;

- при зменшенні об'єму не більше 25 % (залишилось в циліндрі не менше 150 мл), то придатність піни «задовільна»;

- якщо в циліндрі залишилось менш як 150 мл, то придатність «незадовільна».

Температура розчинів піноутворювачів під час випробувань становила 22±2 °С.

Властивості технічної піни дуже суттєво залежать від концентрації піноутворювача у робочому розчині (бажано здобути оптимальні характеристики піни за мінімальної концентрації піноутворювача).

За однакової концентрації піноутворювача (наприклад, 5 %) найбільшу піноутворювальну здатність має розчин на основі піноутворювача Альпен-ПБ (поверхнево-активні білкові речовини з функціональними і стабілізуючими добавками), коефіцієнт кратності піноутворення > 20 (рис. 1, крива 3).

Найменшу кратність (8) має технічна піна на піноутворювачі ПБК, виробленому в процесі гідролізу тваринного білка з додаванням каніфолі (рис. 1, крива 2). Середнє значення кратності (10) має розчин піноутворювача на смолі деревній омилений (омилена лугом частково конденсована (термооброблена) деревна смола) (рис. 1, крива 5).

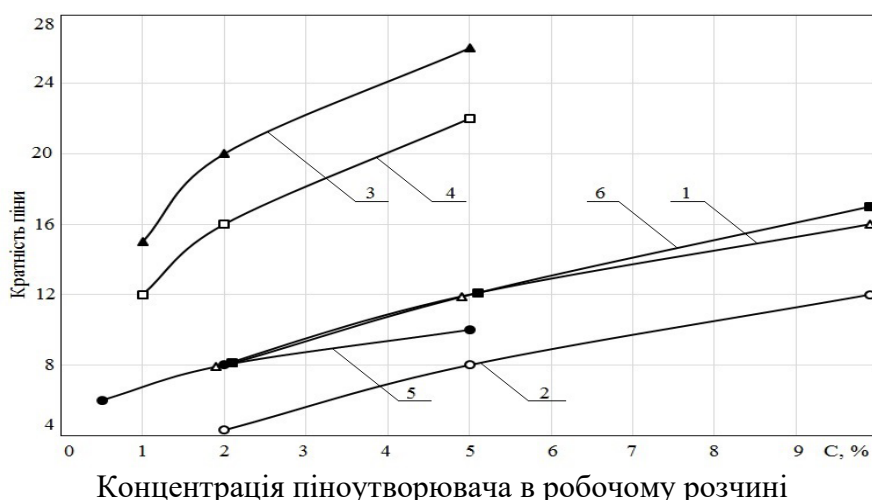


Рис. 1. Залежність кратності піни від концентрації піноутворювача:
 1 – БМК; 2 – ПБК; 3 – Альпен-ПБ; 4 – Софір-ПБ; 5 – СДО; 6 – ВМЗ

За будь-якої концентрації піноутворювача в робочому розчині стійкість технічної піни «добра» лише на смолі деревній омиленій (табл. 1).

Таблиця 1 – Результати якісного оцінювання стабільності технічної піни

№ з/п	Марка піноутворювача	Підприємство-виробник піноутворювача	Концентрація піноутворювача у розчині, %	Стабільність (стійкість) піни
1	БМК (містить каніфоль, каустичну соду, столярний кістковий клей)	Приватне підприємство «Сегнетел» (м. Київ)	2,0 5,0	Задовільна Добра
2	ПБК ТУ У 15.6-00418030-001:2007	ТДВ «Лисичанський желатиновий завод» Луганської області	2,0 5,0 10,0	Незадовільна Добра Добра
3	Альпен-ПБ ТУ У 24.6-32740136- 001:2006	ТОВ «Альхім» (м. Вишневе Київської області)	1,0 2,0 5,0	Незадовільна Незадовільна Задовільна
4	Софір-ПБ ТУ У 26.6-32440539-002:2005	ТОВ «Фірма «Союз ЛТД»» (м. Харків)	1,0 2,0 5,0	Незадовільна Незадовільна Задовільна
5	СДО (побічний продукт лісохімічного виробництва) ТУ 13-102810781-93	ТОВ «Термо-Панцер» (м. Черкаси)	0,5 2,0 5,0	Добра Добра Добра
6	ВМЗ ДСТУ 2972:2010 ДСТУ ISO 14024:2018	ВАТ «Фірма СВ» (Харківська область)	2 5	Задовільна Задовільна

Остаточний вибір найефективнішого піноутворювача здійснювали під час приготування ніздрюватобетонної суміші.

Експериментальне дослідження впливу компонентів ніздрюватобетонної суміші на пороутворювальну здатність піноутворювачів

На процес поризації мінеральної маси впливають вид і концентрація піноутворювача, спосіб приготування технічної піни, режим та спосіб перемішування піни й в'язучого, температура суміші, її реологічні властивості. Під час проведення лабораторних досліджень постала задача вибору піноутворювача для одержання піни і спосіб приготування поризованої суміші. За сухої мінералізації, коли сухі компоненти суміші змішують з попередньо приготованою технічною піною, відбувалось її гашення на всіх випробуваних піноутворювачах під час подачі в'язучого. Приготування непоризованого розчину з подальшим його збиванням тягне за собою підвищену витрату піноутворювача, а за попереднього замішування сухих компонентів водою і наступним змішуванням з технічною піною ускладнювалось проникнення піни у замішане в'язуче.

Для поризації суміші було вибрано спосіб одночасної подачі і перемішування всіх складових ніздрюватобетонної суміші: сухих компонентів, води і піни. Для отримання ніздрюватобетонних зразків з використанням різних піноутворювачів технологічні властивості поризованої суміші мають забезпечити:

- скорочення вистоювання сирцю до розрізання і тепловологісної обробки;
- усунення можливості осідання маси;
- набирання сирцем маркової міцності за природного тужавіння або умов тепловологісної обробки;

Піноутворювач повинен відповідати таким основним вимогам, тобто мати:

а) достатню міцність плівок, щоб піна не руйнувалась під час механічного змішування її з мінеральною частиною розчину і забезпечувала б стійкість свіжоприготовленої ніздрюватобетонної суміші, аж до тужавлення в'язучого та утворення доволі міцного скелета бетону;

б) великий вихід щодо взятого розчину (кратність технічної піни) і дрібнодисперсну структуру;

в) достатню в'язкість плівок піни, перешкоджаючи розшаруванню ніздрюватої суміші та як таку, що забезпечуватиме рівномірний розподіл мінеральних частинок по всьому об'єму.

Крім того, піноутворювальний розчин не повинен негативно впливати на фізико-механічні властивості ніздрюватого бетону.

Суміші, що поризовані технічною піною, одержаною з піноутворювачів БМК, Альпен-ПБ та Софір-ПБ, мали велике зсідання, оскільки піна була нестійкою навіть при її приготуванні і частково руйнувалась під час перемішування. Зразки пінобетону, який містив піноутворювачі ПБК та ВМЗ, характеризувались високою середньою густиною (понад 1000 кг/м^3), а при середній густині нижче за 900 кг/м^3 спостерігались неоднорідність суміші і незначне осідання.

Безусадкова однорідна поризована ніздрюватобетонна суміш вийшла з використанням смоли деревної омиленої (СДО); середня густина пінобетону дорівнювала $700\text{-}1000 \text{ кг/м}^3$. СДО відноситься до гідрофобізуювальних поверхневоактивних речовин, відмітною ознакою яких є явно виражена асиметрія їх молекул, збалансованих таким чином, що забезпечується їх дифільність (здатність молекул речовин одночасно виявляти гідрофільні й гідрофобні властивості). Суттєво, що при введенні подібних добавок внутрішня поверхня повітряних порожнин у ніздрюватому бетоні виявляється гідрофобізованою. Поризовану суміш готували за концентрації піноутворювача в робочому розчині в діапазоні від 0,5 до 5,0 %. Як стабілізатор технічної піни вживали СаО.

При застосуванні СДО з концентрацією 1,5-5,0 % значно подовжувалась тривалість тужавіння (набирання пластичної міцності) пінобетонної суміші. За концентрації СДО менше за 1 % поризована суміш мала осідання. Оптимальні властивості ніздрюватобетонна суміш мала за концентрації СДО 1 % у робочому розчині.

Таким чином, з шести досліджуваних у роботі піноутворювачів вітчизняного виробництва найефективнішим виявлено смолу деревну омилену, з використанням якої розроблено технологічні параметри приготування ніздрюватобетонної суміші.

Під час проведення лабораторних досліджень визначено вплив компонентів пінобетонної суміші на пороутворювальну здатність піноутворювача СДО (стійкість технічної піни у ніздрюватобетонній суміші).

До складу пінобетонної суміші входили: портландцемент марки ПЦ400А, кальцієве негашене вапно активністю 72 % і кремнеземистий компонент (кварцовий пісок) питомою поверхнею $270 \text{ м}^2/\text{кг}$. Кількість цементу у складі пінобетону становила від 30 до 50 %, кварцового піску – від 50 до 70 %, вапна – від 0 до 3 %. Вміст піноутворювача і

стабілізатора технічної піни (СаО) за масою складав понад 100 % ніздрюватобетонної суміші. Концентрація кожного піноутворювача у робочому розчині дорівнювала 1 %.

Контрольні формування показали, що:

- зміна складу поризованої суміші у зазначених діапазонах не вплинуло на пороутворювальну здатність піноутворювача;

- заміна у складі поризованої суміші традиційного кремнеземистого компонента (кварцового піску) відпрацьованими формувальними сумішами ливарного виробництва машинобудівних заводів суттєво не вплинуло на фізико-механічні властивості пінобетонної суміші за інших незмінних умов.

Розроблення технологічних параметрів приготування пінобетонної суміші

Спосіб поризації ніздрюватобетонної суміші зумовлюють параметри його здійснення. Враховуючи, що піноутворювач сповільнює процеси гідратації в'язучої речовини, вибраний спосіб поризації суміші має забезпечити пінобетону задовільних характеристик за найменшої витрати піноутворювача. Тому кращим є спосіб приготування одночасної подачі і перемішуванні сухих компонентів, води і технічної піни.

Якщо попередньо приготовано шлам кремнеземистого компонента, то у такому разі шлам перемішують з водою і сухими компонентами, а потім одержану суміш поризують за рахунок введення технічної піни перемішування маси.

У лабораторних умовах кремнеземистий компонент подавали у вигляді сухого порошку питомою поверхнею 270 м²/кг. Для пінобетонної суміші використовували портландцемент марки ПЦ400А, кальцієве негашене вапно активністю 72 %, а як піноутворювач – смолу деревну омилену. Поризовану суміш виливали у форми 0,07×0,07×0,07 м.

Помел кремнеземистого компонента здійснювали в лабораторному кульовому млині.

Склади поризованих сумішей добирали [23] з розрахунку компонентів на 1 кг сухих складових (0,3 кг цементу + 0,7 кг кремнеземистого компонента; 0,4 кг цементу + 0,6 кг кремнеземистого компонента; 0,5 кг цементу + 0,5 кг кремнеземистого компонента) (табл. 2). У складах пінобетонів 1-9 (серії ніздрюватобетонних зразків I-III) як кремнеземистий компонент використовували кварцовий пісок, у складах 10-18 (серії ніздрюватобетонних зразків IV-VI) – відпрацьовані формувальні суміші ливарних цехів машинобудівних підприємств.

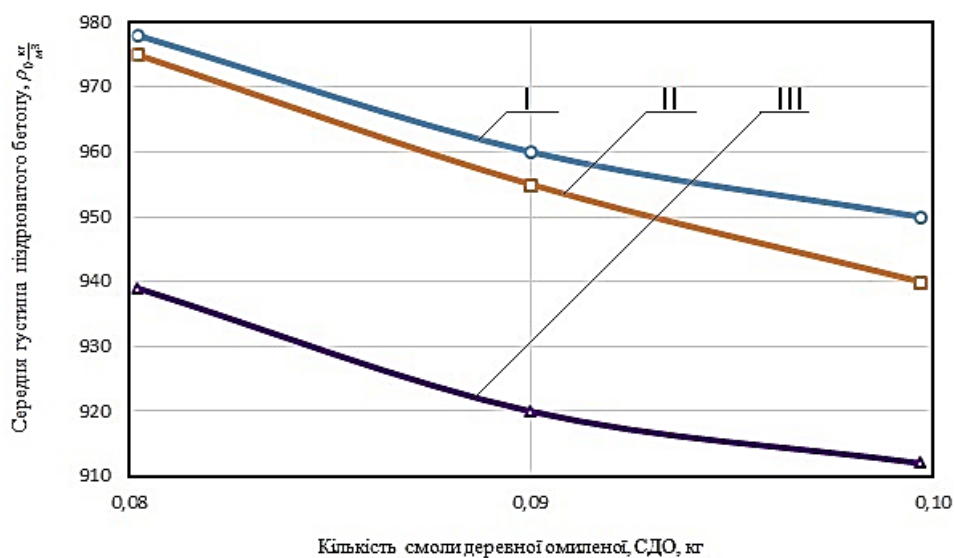
Таблиця 2 – Склади пінобетону

Серія складів бетону	№ складу бетону	Вміст компонентів			Водотверде відношення, (В/Т)	
		цемент, кг	кремнеземистий компонент, кг			піноутворювач, (смола деревна омилена), л
	пісок		відпрацьована формувальна суміш			
I	2	3	4	5	6	7
I	1	0,30	0,70	-	0,08	0,410
	2	0,30	0,70	-	0,09	0,410
	3	0,30	0,70	-	0,10	0,410
II	4	0,40	0,60	-	0,08	0,415
	5	0,40	0,60	-	0,09	0,415
	6	0,40	0,60	-	0,10	0,410
III	7	0,50	0,50	-	0,08	0,420
	8	0,50	0,50	-	0,09	0,420
	9	0,50	0,50	-	0,10	0,420
IV	10	0,30	-	0,70	0,08	0,435
	11	0,30	-	0,70	0,09	0,445
	12	0,30	-	0,70	0,10	0,445
V	13	0,40	-	0,60	0,08	0,440
	14	0,40	-	0,60	0,09	0,440
	15	0,40	-	0,60	0,10	0,445
VI	16	0,50	-	0,50	0,08	0,445
	17	0,50	-	0,50	0,09	0,445
	18	0,50	-	0,50	0,10	0,440

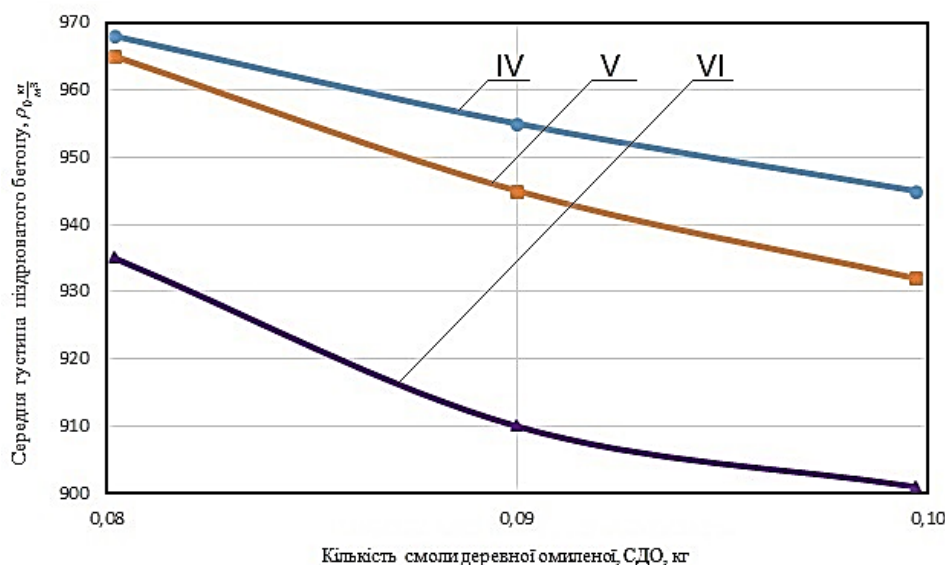
Пінобетонні зразки-куби піддавали термовологісній обробці за експериментально визначеним оптимальним режимом 0,5 + 7,0 + 1,0 (години) – підняття температури + ізо-термічне вистоювання + охолодження.

Як критерії ресурсної цінності відпрацьованих формувальних сумішей прийнято середню густину пінобетону та його межу міцності на стиск [8]. Перед випробуванням зразки-куби 0,07×0,07×0,07 м висушували в електрошафі за температури (105±10) °С до постійної маси).

З підвищенням вмісту смоли деревної омиленої в ніздрюватобетонній суміші середня густина пінобетону закономірно знижується (рис. 2).



а



б

Рис. 2. Залежність середньої густини пінобетону на основі кварцового піску (а) та на основі відпрацьованих формувальних сумішей (б) від кількості смоли деревної омиленої

Незначне зниження середньої густини (у всіх випадках менш за 5 %) викликано заміною крупнішого компонента (питома поверхня кремнеземистого компонента 270 м²/кг) дрібнішим компонентом (питома поверхня цементу, як правило, 400 м²/кг). В такому разі зменшується товщина і, відповідно, маса оболонки кожної бульбашки піни, що призводить до зниження щільності бетону.

Середня густина пінобетону на кварцовому піску на 1,0-1,2 % вища, ніж на відпрацьованих формувальних сумішах.

Значення середньої густини ніздрюватого бетону з використанням ливарного відходу становлять 901-968 кг/м³, що згідно з [24] досліджуваний пінобетон належить до марок D900 і D1000.

З підвищенням вмісту смоли деревної омиленої в ніздрюватобетонній суміші міцність на стиск пінобетону теж закономірно знижується (рис. 3).

При заміні частини кремнеземистого компонента цементом міцність матеріалу збільшується за всіх інших незмінних умов. При постійній середній густині пінобетону міцність підвищилась би більшою мірою, ніж показано на рисунку 3.

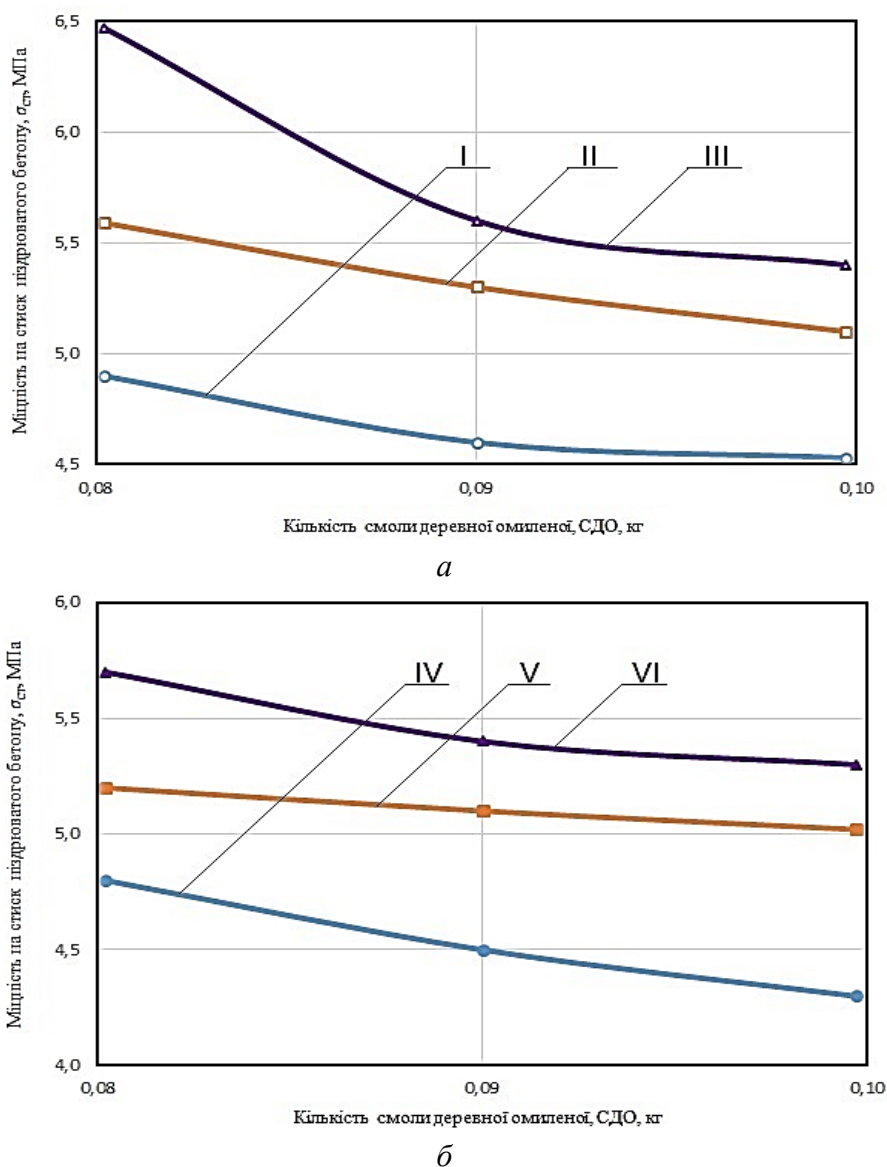


Рис. 3. Залежність міцності на стиск пінобетону на основі кварцового піску (а) та на основі відпрацьованих формувальних сумішей (б) від кількості смоли деревної омиленої

Міцність на стиск пінобетону на основі традиційного кремнеземистого компонента (кварцового піску) в середньому на 7 % вища, ніж на основі відпрацьованих формувальних сумішей, що обумовлено неоднорідністю гранулометричного складу останніх і наявністю на поверхні їх зерен пилоподібної фракції та плівок затверділих зв'язувальних композицій, які залишилися після високотемпературної обробки під час заливання розплавленого металу у форми.

Значення міцності на стиск пінобетону з використанням ливарного відходу складають 4,3-5,7 МПа, що згідно зі Зміною 2 [24] досліджуваній пінобетон належить до класу C3,5 і C5.

Пінобетон марки D900 і класу C3,5 відноситься до конструкційно-теплоізоляційного виду, а пінобетон марки D1000 і класу C5 – до конструкційного [24].

Під час формування пінобетонних зразків на основі відпрацьованих формувальних сумішей набирання пластичної міцності тривало понад 20 годин і спостерігалось осідання ніздрюватобетонної суміші.

Висновки. На підставі визначення властивостей технічної піни (кратність, стабільність) шести піноутворювачів вітчизняних підприємств-виробників різної концентрації робочого розчину виявлено найефективніший піноутворювач – смола деревну омилену.

Розроблено технологічні параметри приготування пінобетонної суміші на основі відпрацьованих формувальних сумішей ливарного виробництва машинобудівних заводів.

Застосування відпрацьованих формувальних сумішей ливарних цехів машинобудівних підприємств як кремненеземистий компонент у ніздрюватих бетонах (для повної заміни традиційного кремнеземистого компонента – кварцового піску) дозволяє досягнути проєктних марок за середньою густиною і межею міцності на стиск пінобетону в сухому стані без підвищення витрати цементу.

Утилізація ливарних відходів машинобудівного виробництва сприяє розв'язанню екологічних проблем і зниженню затрат на виготовлення енергоефективних будівельних матеріалів та виробів.

У подальших дослідженнях доцільно приділити особливу увагу вирішенню завдання скорочення терміну набирання пластичної міцності пінобетонної суміші, а також зменшенню осіданні поризованої маси, що призведе до зниження середньої густини пінобетонних виробів.

Список використаних джерел

1. Про енергетичну ефективність [Електронний ресурс] : Закон України 22. 06. 2017 № 2118-VIII – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text>.

2. Про схвалення Концепції реалізації державної політики у сфері забезпечення енергетичної ефективності будівель у частині збільшення кількості будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії та затвердження Національного плану збільшення кількості будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії [Електронний ресурс] : Розпорядження Кабінету Міністрів України № 88-р 29. 01. 2020. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/88-2020-%D1%80#Text>.

3. Про затвердження Методики визначення енергетичної ефективності будівель [Електронний ресурс] : Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України № 169 від 11.07.2018. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0822-18#n14>.

4. ДСТУ-Н Б В.2.6-2019:2016 Настанова з енергетичного маркування будівельних теплоізоляційних матеріалів та виробів [Електронний ресурс] / Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» ; затв. наказом від 02.07.2016 № 212. – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=65831.

5. Використання сучасних ефективних утеплювачів для підвищення енергоефективності громадських будівель / Р. О. Тімченко, Д. А. Крішко, В. О. Савенко, В. М. Яблонська // Вісник Криворізького національного університету. – 2022. – Вип. 54. – С 153-158.

6. ДБН В.1.2-11:2021 Енергозбереження та енергоефективність [Електронний ресурс] / Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» ; затв. наказом від 30.12.2021 № 366 Про затвердження державних будівельних норм. – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=98036.

7. ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель [Електронний ресурс] / Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» ; Наказ від 30.12.2021 № 366 Про затвердження державних будівельних норм – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=98037.

8. Кваша Т. Перспективні світові наукові та технологічні напрями досліджень у сфері «Відходи»: монографія / Т. Кваша, О. Паладченко, І. Молчанова. – Київ: УкрІНТЕІ, 2020. – 103 с.
9. Guo H. Mixed-indicators model for identifying emerging research areas / H. Guo, S. Weingart, K. Borner // *Scientometrics*. – 2011. – Vol. 89, No 1. – Pp. 421-435.
10. Яценюк О. А. Енергозбереження в житлово-комунальному секторі / О. А. Яценюк // Містобудування та територіальне планування. – 2012. – № 45. – С. 373-377.
11. Тимченко Р. А. Использование современных технологий энергосбережения в малоэтажной застройке городов / Р. А. Тимченко, Д. А. Кришко, А. В. Буренкова // Містобудування та територіальне планування. – 2015. – Вип. 55. – С. 443-447.
12. Шалевская И. А. Исследование возможности утилизации отходов формовочных смесей / И. А. Шалевская, А. И. Гутько // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. – 2011. – № 4(25). – С. 169-173.
13. Лютий Р. В. Формувальні суміші / Р. В. Лютий, Ш. М. Гурія. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 258 с.
14. Прокопович Л. В. Підвищення екологічної активності відвалів ливарного виробництва: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Л. В. Прокопович; НТУ «КПІ імені І. Сікорського». – Київ, 1999.
15. Використання виробничого потенціалу ливарних цехів у вирішенні завдань екології та охорони праці / В. А. Шаповалов, Л. Н. Світгарєєв, Т. П. Ярош, І. Е. Скідін // Гірничий вісник. – 2019. – Вип. 105. – С. 68-74.
16. Евтушенко, Н. С. Исследование свойств регенерируемых смесей на основе ОФОС / Н. С. Евтушенко, О. И. Шинский, О. И. Пономаренко // Компрессорное и энергетическое машиностроение. – 2013. – № 4(34). – С. 48-51.
17. Евтушенко Н. С. Экология литейного производства / Н. С. Евтушенко, О. И. Пономаренко, Л. Н. Чунихина // *Литье. Металлургия*. 2016: материалы XII Междунар. науч.-практ. конф. – 2016. – С. 84-85.
18. Иванова Л. А. Литейное производство как элемент системы техносфера – биосфера / Л. А. Иванова, Л. В. Прокопович // *Экотехнологии и энергосбережение*. – 1997. – № 4. – С. 48-52.
19. Савчук Л. А. Оцінка впливу на навколишнє середовище ливарно-механічного заводу «Горсталь» у м. Горохів / Л. А. Савчук, І. Л. Шевчук // *Екологічні нотатки*. – 2017. – № 4. – С. 23-28.
20. Поясник, Г. В. Пути повышения водоустойчивости асфальтобетонов: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Г. В. Поясник; Харьковский государственный автомобильно-дорожный технический университет. – Харьков, 1996.
21. Ковальський В. П. Пінобетон на змішаному в'язучому / В. П. Ковальський, І. М. Войтюк, Д. О. Вознюк // Інноваційні технології в будівництві: зб. матеріалів Міжнар. наук.-тех. конф. – 2018. – С. 179-182.
22. ДСТУ 3789:2015 Пожежна безпека. Піноутворювачі загального призначення для гасіння пожеж. Загальні технічні вимоги та методи випробування [Електронний ресурс] / Український науково-дослідний інститут пожежної безпеки МНС України; затв. наказом від 22.06.2015 № 61 Про прийняття нормативних документів України, гармонізованих з міжнародними та європейськими нормативними документами, національних стандартів України, скасування нормативних документів України та міждержавних стандартів в Україні. – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=64357.
23. ДСТУ-Н Б В.2.7.-308:2015 Настанова з виготовлення виробів з ніздрюватого бетону [Електронний ресурс] / Державне підприємство «Український науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут будівельних матеріалів та виробів «НДІБМВ». Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=63751.
24. ДСТУ Б В.2.7.-45:2010 Бетони ніздрюваті [Електронний ресурс] / Державне підприємство «Український науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут будівельних матеріалів та виробів «НДІБМВ» – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=65208.

References

1. Pro enerhetychnu efektyvnist [About energy efficiency], Law of Ukraine № 2118-VIII (2017) (Ukraine). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text>.

2. Pro skhvalennia Kontseptsii realizatsii derzhavnoi polityky u sferi zabezpechennia enerhetychnoi efektyvnosti budivel u chastyni zbilshennia kilkosti budivel z blyzkym do nulovoho rivnem spozhyvannia enerhii ta zatverdzhennia Natsionalnogo planu zbilshennia kilkosti budivel z blyzkym do nulovoho rivnem spozhyvannia enerhii [On the approval of the Concept of implementation of the state policy in the field of ensuring the energy efficiency of buildings in terms of increasing the number of buildings with a near-zero level of energy consumption and approval of the National Plan for increasing the number of buildings with a near-zero level of energy consumption], Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine № 88-r (2020) (Ukraine). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/88-2020-%D1%80#Text>.

3. Pro zatverdzhennia Metodyky vyznachennia enerhetychnoi efektyvnosti budivel [About the approval of the Methodology for determining the energy efficiency of buildings], Order of the Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine № 169 (2018) (Ukraine). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0822-18#n14>.

4. Derzhavne pidpriemstvo «Derzhavnyi naukovy doslidnyi instytut budivelnykh konstrukttsii». (2016). Nastanova z enerhetychnoho markuvannia budivelnykh teploizoliatsiinykh materialiv ta vyrobiv [Guideline on energy labeling of construction heat-insulating materials and products] (DSTU-N B V.2.6-2019:2016). Ministerstvo rehionalnogo rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunalnogo hospodarstva Ukrainy.

5. Timchenko, R.O., Krishko, D.A., Savenko, V.O., & Yablonska, V.M. (2022). Vykorystannia suchasnykh efektyvnykh uteplivachiv dlia pidvyshchennia enerhoefektyvnosti hromadskykh budivel [The use of modern effective insulation materials to increase the energy efficiency of public buildings]. *Visnyk Kryvorizkoho natsionalnogo universytetu – Bulletin of Kryvyi Rih National University*, (54), 153-158.

6. Derzhavne pidpriemstvo «Derzhavnyi naukovy doslidnyi instytut budivelnykh konstrukttsii». (2021). Enerhozberezhennia ta enerhoefektyvnist [Energy saving and energy efficiency] (DBN V.1.2-11:2021). Ministerstvo rozvytku hromad ta terytorii Ukrainy.

7. Derzhavne pidpriemstvo «Derzhavnyi naukovy doslidnyi instytut budivelnykh konstrukttsii». (2021). Teplova izoliatsiia ta enerhoefektyvnist budivel [Thermal insulation and energy efficiency of buildings] (DSTU V.2.6-31:2021). Ministerstvo rozvytku hromad ta terytorii Ukrainy.

8. Kvasna, T., Paladchenko, O., & Molchanova, I. (2020). *Perspektyvni svitovi naukovi ta tekhnolohichni napriamy doslidzhen u sferi «Vidkhydy» [Perspective global scientific and technological directions of research in the field of «Waste»]*. UkrINTEI.

9. Guo, H., Weingart, S., & Borner, K. (2011). Mixed-indicators model for identifying emerging research areas. *Scientometrics*, 89(1), 421-435.

10. Yatseniuk O.A. (2012) Enerhozberezhennia v zhytlovo-komunalnomu sektori [Energy saving in the residential and communal sector]. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia – Urban planning and territorial planning*, (45), 373-377.

11. Timchenko, R.A., Krishko, D.A., & Burenkova, A.V. (2015). Ispolzovanie sovremennykh tekhnologiy energosberezheniya v maloetazhnoy zastroyke gorodov [The use of modern energy saving technologies in low-rise urban development]. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia – Urban planning and territorial planning*, (55), 443-447.

12. Shalevskaya, I.A., & Gutko, A.I. (2011). Issledovanie vozmozhnosti utilizatsii otkhodov formovochnykh smesey [Study of the possibility of recycling molding sand waste]. *Visnyk Donbaskoi derzhavnoi mashynobudivnoi akademii – Bulletin of the Donbas State Machine-Building Academy*, (4(25)), 169-173.

13. Liutyi, R.V., & Huriia, Sh.M. (2020). *Formovalni sumishi [Molding mixtures]*. KPI.

14. Prokopovych, L.V. (1999) *Pidvyshchennia ekolohichnoi aktyvnosti vidvaliv lyvarnogo vyrobnytstva [Increasing the environmental activity of foundry dumps]*. NTU «KPI».

15. Shapovalov, V.A., Saithareiev, L.N., Yarosh, T.P., & Skidin, I.E. (2019). Vykorystannia vyrobnychoho potentsialu lyvarnykh tsekhiv u vyrishenni zavdan ekolohii ta okhorony pratsi [Using the production potential of foundries in solving environmental and labor protection problems]. *Hirnychiy visnyk – Mining Herald*, (105), 68-74.

16. Yevtushenko, N.S., Shinskiy, O.I., & Ponomarenko, O.I. (2013). Issledovanie svoystv regeneriruemyykh smesey na osnove OFOS [Investigation of properties of regenerated mixtures based on OFOS]. *Kompressornoe i energeticheskoe mashinostroenie – Compressor and power engineering*, (4(34)), 48-51.

17. Yevtushenko, N.S., Ponomarenko, O.I., & Chunikhina, L.N. (2016). Ekologiya liteynogo proizvodstva [Ecology of foundry]. *Lite. Metallurgiya – Casting. Metallurgy*, 84-85.
18. Ivanova, L.A., & Prokopovich, L.V. (1997). Liteynoe proizvodstvo kak element sistemy tekhnosfera – biosfera [Foundry as an element of the technosphere-biosphere system]. *Ekotekhnologii i energosberezhenie – Ecotechnologies and energy saving*, (4), 48-52.
19. Savchuk, L.A., & Shevchuk, I.L. (2017). Otsinka vplyvu na navkolyshnie seredovysheche lyvarno-mekhanichnoho zavodu «Horstal» u m. Horokhiv [Assessment of the impact on the environment of the foundry and mechanical plant «Horstal» in the city of Horohiv]. *Ekologichni notatky – Ecological notes*, (4), 23-28.
20. Poyasnik, G.V. (1996). *Puti povysheniya vodoustoychivosti asfaltobetonov [Ways to improve the water resistance of asphalt concrete]*. KhGADTU.
21. Kovalskyi, V.P., Voitiuk, I.M., & Vozniuk, D.O. (2018). Pinobeton na zmishanomu viazhuchomu [Foam concrete on a mixed binder]. *Innovatsiini tekhnologii v budivnytstvi – Innovative technologies in construction*, 179-182.
22. Ukrainskyi naukovo-doslidnyi instytut pozhezhnoi bezpeky MNS Ukrainy. (2015). Pinoutvoriuvachi zahalnoho pryznachennia dla hasinnia pozhezh [General purpose foaming agents for extinguishing fires] (DSTU 3789:2015). Natsionalnyi orhan standartyzatsii DP «UkrNDNTs».
23. Derzhavne pidpriemstvo «Ukrainskyi naukovo-doslidnyi i proektno-konstruktorskyi instytut budivnykh materialiv ta vyrobiv «NDIBMV». (2015). Nastanova z vyhotovlennia vyrobiv z nizdriuvatoho betonu [Instructions for manufacturing products from aerated concrete] (DSTU-N B V.2.7.-308:2015). Ministerstvo rehionalnoho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy.
24. Derzhavne pidpriemstvo «Ukrainskyi naukovo-doslidnyi i proektno-konstruktorskyi instytut budivnykh materialiv ta vyrobiv «NDIBMV». (2010). Betony nizdriuvati [Aerated concrete] (DSTU B V.2.7.-45:2010). Ministerstvo rehionalnoho rozvytku ta budivnytstva Ukrainy.

Отримано 12.06.23

UDC 620.28:[628.4.038:621]

**Yaroslav Liashok¹, Serhii Podkopaiev², Oleksii Povzun³,
Svitlana Virych⁴, Valerii Kalynychenko⁵**

¹Doctor of Economic Sciences, Professor, Rector, Donetsk National Technical University (Lutsk, Ukraine)

E-mail: yaroslav.liashok@donntu.edu.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7643-8485>. ResearcherID: [M-9725-2019](https://orcid.org/0000-0002-7643-8485)

²Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-rector in Scientific Work

Donetsk National Technical University (Lutsk, Ukraine)

E-mail: prof.s.podkopaiev@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3258-9601>. ResearcherID: [B-7422-2019](https://orcid.org/0000-0002-3258-9601)

³PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of Applied Mechanics

Donetsk National Technical University (Lutsk, Ukraine)

E-mail: povzun.aleksey@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8183-9585>. SCOPUS Author ID: [57215584638](https://orcid.org/0000-0001-8183-9585)

⁴PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Head of Department of Applied Mechanics

Donetsk National Technical University (Lutsk, Ukraine)

E-mail: svitlana.virych@donntu.edu.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4734-345X>

SCOPUS Author ID: [57210125718](https://orcid.org/0000-0003-4734-345X)

⁵PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of Applied Mechanics

Donetsk National Technical University (Lutsk, Ukraine)

E-mail: kvv157@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0598-8076>. SCOPUS Author ID: [57215577915](https://orcid.org/0000-0002-0598-8076)

ENERGY-EFFICIENT MATERIAL WITH THE USE OF MACHINE-BUILDING PRODUCTION FOUNDRY WASTE

In order to save energy and natural resources in Ukraine and the world, new principles are applied during the design of energy-efficient buildings. Therefore, there is a need to create and improve the low-energy production of heat-insulating and structural-heat-insulating energy-efficient wall materials.

One of the measures to ensure the fulfillment of the main requirement for energy saving and energy efficiency is the design of constructive solutions for elements of the thermal insulation shell of buildings, taking into account changes in the thermo-physical characteristics of materials during the operation of the products. The use of industrial waste and secondary raw materials in energy-saving technologies of building materials will help reduce the cost of their production and is an effective means of pollution control.

Energy-consuming during production and inefficient during operation, traditional wall materials (ceramic brick, expanded clay concrete, expanded clay) have been pushed out of the construction market due to the constant increase in the price of energy carriers and increased values of the enclosing structures heat transfer thermal resistance. Analysis of publications and experience of modern construction shows that one of the highly effective wall materials is aerated concrete of various types.

The technological parameters of the aerated concrete mixture preparation using spent molding mixtures of foundry production have not been developed.

The purpose of the article is to substantiate the expediency of producing porous material based on spent molding mixtures from foundries of machine-building plants.

The study of six foaming agents from local production on their foaming ability is presented in the work. The multiplicity of foam formation and the stability of the technical foam prepared on them were determined. The influence of the components of aerated concrete mixture on the pore-forming ability of foaming agents was studied. The technological parameters for the preparation of the powdered mixture using the most effective foaming agent tested in the work - saponified wood resin - have been developed. In terms of physical and mechanical properties, the studied concrete based on spent molding mixtures of foundry construction of machine-building enterprises meets the requirements of the state standards of Ukraine.

On the basis of determining the properties of technical foam (multiplicity, stability) of six foaming agents from local manufacturers with different concentrations of the working solution, the most effective foaming agent was found, which is saponified wood resin. The technological parameters for the preparation of foam concrete mixture based on used molding mixtures from foundry production of machine-building plants have been developed. The implementation of used molding mixtures from foundries of machine-building enterprises as a siliceous component in aerated concrete (for a complete replacement of the traditional siliceous component - quartz sand) makes it possible to achieve required grade for the average density and compressive strength limit of foam concrete in the dry state without increasing cement consumption. Utilization of foundry waste from machine-building production contributes to solving environmental problems and reducing costs for the production of energy-efficient construction materials and products. In further research, it is advisable to pay special attention to solving the problem of reducing set of strength period for foam concrete mixture plastic strength, as well as reducing the settling of the porous mass, which will lead to a decrease in the average density of foam concrete products.

Keywords: spent molding compounds; foaming agent; multiplicity and stability of foam; foam concrete.

Fig.: 3. Table: 2. References: 24.