

УДК 691-405.8

**ВИКОРИСТАННЯ НВЧ ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ СПУЧУВАННЯ
РІДКОСКЛЯНИХ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Канд. техн. наук Т. Е. Римар

**USE OF MICROWAVE RADIATION FOR SEPARATION OF LIQUID GLASS HEAT
INSULATION MATERIALS**

PhD (Tech.) T. Rymar

Анотація. Дослідження ринку теплоізоляції України показало, що переважають на цьому ринку ніздрюваті бетони і силікати, які застосовують як теплоізоляційні матеріали при середній щільності 300–500 кг/м³. До їх недоліків відносять великі значення водопоглинання і гігроскопічності, а також дуже низьку міцність на вигин, оскільки такий матеріал не володіє еластичністю і застосування невеликих згинальних зусиль призводить до його розтріскування. Комплексом експлуатаційних властивостей, що відповідають найвищим нормативним вимогам, володіє піноскло. Піноскло – найміцніший з усіх ефективних теплоізоляційних матеріалів, однак цей матеріал є крихким. Він чутливий до

складна і потребує високих енерговитрат, як наслідок, вартість цього матеріалу висока. Тому актуальним було розробити теплоізоляційний матеріал з відповідним рівнем експлуатаційних властивостей при зниженні витрат на виробництво. Досягти цього вдалося застосуванням енергоощадної технології НВЧ спучування рідкоскляних матеріалів. Ця технологія базується на одночасному спучуванні рідкоскляного грануляту та зв'язуючого в умовах НВЧ випромінювання, яке завдяки об'ємному прогріву рідкоскляної композиції дає змогу отримати міцний омонолічений матеріал з жорсткою, однорідною та переважно закритопористою структурою.

Ключові слова: теплоізоляційні матеріали, рідке скло, НВЧ випромінювання, омонолічування, рідкоскляні гранули, зв'язуюче.

Abstract. The study of the thermal insulation market of Ukraine showed that the market is dominated by aerated concrete and silicates, which are used as thermal insulation materials at an average density of 300-500 kg / m³. Their disadvantages include high values of water absorption and hygroscopicity, as well as very low flexural strength, because this material does not have elasticity and the use of small bending forces leads to its cracking. Foam glass has a set of operational properties that meet the highest regulatory requirements. Foam glass is the strongest of all effective thermal insulation materials, but this material is fragile. It is sensitive to vibration - induced damage. In addition, the technology of production of foam glass is quite complex and requires high energy consumption, as a consequence, the cost of this material is high. Therefore, it was important to develop thermal insulation material with the appropriate level of performance while reducing production costs. This was achieved by using energy-saving microwave technology to swell liquid glass materials. This technology is based on the simultaneous swelling of the liquid glass granulate and the binder under microwave radiation, which, due to the volumetric heating of the liquid glass composition, allows to obtain a strong monolithic material with a rigid, homogeneous and mostly closed-porous structure. The production of thermal insulation materials is proposed to be carried out on the basis of liquid glass granulate, because the introduction of granules reduces the deformability and shrinkage of the material and prevents its cracking, increases its strength, because the granular material has a certain plastic deformation, reduces water hygroscopicity. granules swell to form a compacted shell, which slows down the absorption kinetics of water and its vapor. The monolithic granules are proposed to be carried out with a binder that foams not only due to the release of water, but also with the help of a gasifier, because this technology will allow uniform distribution of the binder in the intergranular space, thus forming a more homogeneous structure of the material, which has a positive effect on its physical and mechanical characteristics.

Keywords: heat-insulating materials, liquid glass, microwave radiation, monolithic treatment, liquid glass granules, binder.

Вступ. Дослідження ринку теплоізоляції України показало, що виробників теплоізоляційних матеріалів (ТІМ) на основі рідкого скла (РС) в плитній формі немає. Якщо посилається на літературні дані, то промисловістю випускався випалювальний склосилікат, який отримували на основі гранул склопора омонолічених рідким склом, але міцність таких матеріалів була заниженою, так при

щільності 130–200 кг/м³ міцність при стиску складала 0,2–0,4 МПа [1]. На сьогодні виробництва таких матеріалів не налагоджено в Україні і таких матеріалів не представлено на українському ринку теплоізоляції. Переважають на ринку теплоізоляції ніздрюваті бетони і силікати, які застосовують як теплоізоляційні матеріали при середній щільності 300–500 кг/м³. Залежно від виду застосованого пороутво-

рювача і в'язучої речовини в цих матеріалах їх називають газобетонами, газо-силікатами, пінобетонами, піносилікатами. Ці бетони можуть бути змішані з пороутворювачем і тоді мають назви – піногазобетони, піногазосилікати тощо. Залежно від технології ніздрюваті бетони розділяють на автоклавні і неавтоклавні. Ніздрюваті бетони автоклавного тверднення (в середовищі насиченої пари, при температурі ~ 200 °С і тиску 10–14 атм.) – це штучно синтезований камінь, а неавтоклавні бетони – застиглий у поризованому стані цементно-піщаний розчин [2–3]. До їх недоліків відносять великі значення водопоглинання і гігроскопічності, а також дуже низьку міцність на вигин, оскільки такий матеріал не володіє еластичністю і застосування невеликих згинальних зусиль призводить до його розтріскування.

Ще одним широко використовуваним теплоізоляційним матеріалом є вермікулітові плити. Їх складовими є спучений вермікуліт і рідке скло як неорганічний зв'язуючий елемент. Це негорючий і хімічно нейтральний матеріал, який використовується як елемент вогнестійких і теплоізоляційних конструкцій у цивільному та промисловому будівництві [3]. Однак їх застосування можливе лише за умови гідроізоляції через високу гігроскопічність, до того ж вони не є водостійкими: будучи поміщеними у воду, практично миттєво руйнуються. Крім того, спучені вермікулітові гранули одержують шляхом термічної обробки вихідного мінералу при температурах близько 900–1200 °С, а сушіння плит забирає 5–7 годин при температурі 120–200 °С, що тягне за собою великі енерговитрати.

Комплексом експлуатаційних властивостей, що відповідають найвищим нормативним вимогам, володіє піноскло. В Європейському Союзі воно є визнаним і одним з найефективніших теплозахисних будівельних матеріалів. Піноскло – найміцніший з усіх ефективних теплоізоляційних

матеріалів, однак цей матеріал є крихким. Він чутливий до вібраційно-індукованих пошкоджень [4–5]. До того ж технологія виробництва піноскла досить складна і потребує високих енерговитрат, як наслідок, вартість цього матеріалу висока. Тому актуальним було розробити теплоізоляційний матеріал з відповідним рівнем експлуатаційних властивостей при зниженні витрат на виробництво.

Прикладом таких матеріалів є ТІМ на основі рідкого скла, вони поєднують низьку теплопровідність (0,030–0,065 Вт/м·°С) з широким інтервалом температур експлуатації (від -60 до 600 °С), негорючістю та біостійкістю при гарантованому терміні експлуатації – не менше 50 років. Однак на сьогодні теплоізоляційні матеріали на основі РС випускають переважно у вигляді гранул. Великомасштабного промислового виробництва композиційних ТІМ у вигляді плит та виробів іншої конфігурації не налагоджено, що пов'язано зі складністю прогріву внутрішніх об'ємів рідкоскляної композиції (РСК) при використанні традиційного конвективного нагріву. Як альтернативне джерело термообробки при виробництві таких ТІМ можливо використовувати НВЧ випромінювання, яке дасть змогу здійснити об'ємний прогрів рідкоскляної композиції та отримати якісний ТІМ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останнім часом великої актуальності набуває використання нових і нетрадиційних видів енергії. НВЧ випромінювання, без сумніву, належить до таких видів енергії, але, на жаль, незважаючи на велику поширеність малих НВЧ-апаратів, галузь застосування НВЧ випромінювання для виробництва матеріалів вивчена досить слабо.

Можна стверджувати, що застосування НВЧ енергії при сушінні, вулканізації, низькотемпературному нагріванні діелектриків, дефростації – вже достатньо відпрацьовані технології. Установки для реалізації таких технологічних процесів

успішно продаються на ринку, але їх частка досить мала. Інженери, що працюють у сфері нових електротехнологій, створюють нові розробки, які часто відрізняються від існуючих більш високими показниками якості кінцевої продукції, високою продуктивністю, екологічністю та іншими показниками, однак, ці нові технології так і не доходять до споживача [6]. Фізико-хімічні процеси, які проводять за допомогою мікрохвильового нагріву, мають істотно нижчі часові і енергетичні витрати, ніж при використанні традиційних методів здійснення цих процесів. Більш того, в ряді випадків за рахунок мікрохвильового впливу можна домогтися результатів, яких не можна досягти за допомогою інших методів [7].

Останнім часом набуло досить широкого застосування електромагнітне випромінювання НВЧ діапазону в будівництві для цілеспрямованої зміни структури і поліпшення фізико-механічних та експлуатаційних властивостей будівельних матеріалів.

Так, у роботі [8] проводилися дослідження ефективності використання НВЧ випромінювання при активації золи-виносу для бетонних сумішей. Після мікрохвильової дії частинки золи-виносу характеризуються меншими розмірами, отже, для них характерні більш високі значення надмірної вільної енергії і вони схильні до процесів когерентного зрощення і агрегації первинних кристалітів, що і забезпечує приріст міцності за рахунок активованої золи-виносу. Оскільки активована зола-винос набуває додаткової гідравлічної активності, вона може успішно бути використана у поєднанні з іншими техногенними продуктами для виробництва низькомарочних в'язучих [8].

При використанні НВЧ випромінювання в галузі хімії будівельних матеріалів особливо важливу роль разом з об'ємним внутрішнім розігріванням матеріалу відіграє так званий «нетермічний» ефект НВЧ

випромінювання. Одночасний прояв цих ефектів знаходить застосування при виробництві гідравлічних і повітряних в'язучих з використанням побічних продуктів промисловості [9], а також для поліпшення міцнісних властивостей обпалених виробів глинистих композицій [10–11].

Відомі роботи [12] присвячені дослідженню впливу НВЧ-обробки на фізико-механічні властивості бітумів, в яких зазначається позитивний вплив хвиль надвисокочастотного діапазону на показники міцності, водо-, теплостійкості, температурної чутливості і погодної стійкості асфальтобетону.

Величезним поштовхом у будівництві є застосування НВЧ технологій при отриманні ніздрюватих бетонів. Так, у роботі [13] вивчено процес сушіння ніздрюватого бетону із залученням НВЧ випромінювання при видаленні води з внутрішніх об'ємів ніздрюватого бетону. У роботі була показана неприпустимість застосування НВЧ технології на ранньому терміні твердіння ніздрюватого бетону через велику кількість води в його об'ємі. У ранні терміни твердіння відбуваються реакції гідратації і утворення гелю, який потім кристалізується. Якщо почати застосовувати НВЧ технологію на ранніх термінах, вода видалиться з об'єму матеріалу і процеси гідратації не зможуть відбуватися, що призведе до тріщиноутворення і втрати міцності ніздрюватого бетону. Велика кількість води в об'ємі неприпустима через напруги, що викликаються зміною агрегатного стану при переході води у пару.

У роботі [14] встановлено перспективність отримання малоусадкового пінобетону за допомогою НВЧ випромінювання, яке забезпечує рівномірне сушіння без усадкових проявів і помітних тріщин завдяки рівномірному розподілу теплових потоків у масиві пінобетону, яке досягається за рахунок одночасного прогрівання його об'єму.

Досліджуючи особливості сушіння неавтоклавної пінобетону, встановлено, що для внутрішнього розігрівання пористих матеріалів НВЧ-нагрів не вимагає теплопередачі, а реалізується за рахунок перетворення електромагнітної енергії на теплову в усьому об'ємі матеріалу, що обігривається, яким може виступати пінобетон. При цьому градієнт температури в зразку істотно знижується, завдяки чому знижується внутрішня напруга в пінобетоні.

У технології силікатних теплоізоляційних матеріалів мікрохвильове випромінювання застосовується переважно для модифікації властивостей готових виробів [15–17].

Так, використання НВЧ випромінювання для спучування рідкого скла має ряд переваг:

1) високий ступінь поглинання компонентами сировини енергії електромагнітного поля НВЧ (за рахунок того, що рідке скло містить воду);

2) можливість зі швидкістю світла підвести і виділити в одиниці об'єму зразка потужність, не доступну жодному з традиційних способів підведення енергії;

3) практично 100 % ККД перетворення НВЧ енергії в теплову, що виділяється в матеріалі, який нагрівається, низькі втрати енергії в підвідних трактах і робочих камерах;

4) можливість миттєвого включення і виключення теплового впливу, що забезпечує режим теплової безінерційності і високу точність регулювання нагріву.

Визначення мети та завдання дослідження. Таким чином, *метою даної роботи* є розробка енергоощадної технології теплоізоляційних матеріалів на основі рідкого скла з використанням НВЧ випромінювання. Для досягнення поставленої мети було досліджено вплив НВЧ випромінювання на властивості даних матеріалів і проведено порівняльну їх оцінку з найбільш близькими за технічними

характеристиками ТІМ, які випускаються промисловістю.

Основна частина дослідження. Застосування НВЧ-установок досить новий технологічний прийом у промисловості теплоізоляційних матеріалів. Шляхи застосування НВЧ технології у виробництві теплоізоляційних матеріалів об'єднані одним загальним пунктом – можливістю об'ємного прогріву матеріалу і скорочення енерговитрат на виробництво, що послужило визначальним фактом при виборі технології отримання даних теплоізоляційних матеріалів.

Виготовлення теплоізоляційних матеріалів пропонується проводити на основі рідкоскляного грануляту та зв'язуючого також на основі рідкого скла. Ефективність уведення гранул полягає у зменшенні деформативності і усадкових явищ ТІМ та запобіганні його розтріскуванню; підвищенні їх показників міцності, оскільки гранульований матеріал володіє певною пластичною деформацією; зменшенні гігроскопічності та водопоглинання матеріалу, оскільки на поверхні гранул при спученні утворюється ущільнена оболонка, яка уповільнює кінетику поглинання води та її пари. Отримання гранул пропонується проводити рідинною грануляцією рідкоскляної композиції шляхом коагуляції рідкого скла в середовищі розчину хлориду кальцію [18]. Омоноличування гранул пропонується здійснювати зв'язуючим, що спінюється не лише за рахунок вивільнення води, але і за допомогою газоутворювача, тому що така технологія дозволить здійснити рівномірний розподіл зв'язуючого у міжгранульному просторі. При чому омоноличувати пропонується сирі (не спучені) гранули та проводити одночасне спучення і гранул, і зв'язуючого під дією НВЧ випромінювання, тому що при одночасному збільшенні об'єму і гранул, і зв'язуючого утворюється більш однорідна структура матеріалу, що позитивно відбивається на його фізико-механічних

характеристиках [19–20]. Крім того, запропонована технологія більш економічна, тому що виключає стадію окремого спучення гранул, тим самим скорочуючи енерговитрати на виробництво. Досягти одночасного спучення гранул і зв'язуючого можна лише при використанні НВЧ випромінювання, яке, на відміну від традиційного конвективного нагріву, дозволяє здійснити об'ємний прогрів рідкоскляної композиції та отримати міцний омонолічений матеріал, який задовольняє вимоги ДСТУ Б В.2.6-189:2013.

Методика проведення дослідження. Технологія композиційних ТІМ на основі РС має такі стадії: 1) приготування РСК згідно з обраною рецептурою для гранул;

2) гранулювання РСК у розчині хлориду кальцію; 3) витримка гранул у розчині протягом 30–40 хв при температурі 25–30°C; 4) сушіння отриманих гранул до залишкової вологості ~50 %; 5) приготування РС зв'язуючого обраної рецептури для компо-зиційного матеріалу, 6) перемішування РС зв'язуючого і неспучених гранул у співвідношенні 1:1; 7) формування виробу та його спучування в НВЧ-установці при потужності 650 Вт, що відповідає температурі 115–120 °С, протягом 8–10 хв; 8) вилучення виробу з форми.

Зовнішній вигляд гранульованих та композиційних теплоізоляційних матеріалів, отриманих із застосуванням НВЧ випромінювання, подано на рис. 1.



Рис. 1. Зовнішній вигляд теплоізоляційних матеріалів:
а – гранульованих; б – композиційних

Основні фізико-механічні властивості ТІМ визначались згідно з чинними державними та міжнародними стандартами ISO: щільність (ДСТУ ISO 5016: 2013), вологість, сорбційна вологість (гігроскопічність), водопоглинання, межа міцності при 10 %-й деформації стискання, межа міцності на вигин, лінійна

температурна усадка (ДСТУ Б В.2.7-38-95), теплопровідність (ДСТУ Б В.-2.7-105-2000).

Порівняльні властивості отриманого композиційного матеріалу на основі рідкоскляного грануляту з піносклом, піносілікатом та вермікулітовою плитою подано в таблиці.

Найбільш близьким за властивостями до розробленого теплоізоляційного матеріалу є піноскло. Оскільки і отриманий матеріал, і піноскло складаються з газонаповнених осередків розділених щонайтоншими перегородками, ці перегородки, не крихкі і пористі, на відміну від піно- і газобетонів, а суцільні, гладкі і оплавлені. За хімічним складом обидва є на 100 % неорганічним матеріалом, не містять

і не виділяють жодних небезпечних речовин, на відміну від мінераловатних виробів, не є джерелом ані канцерогенних волокон, ані пари токсичних органічних зв'язуючих сполук. Оскільки властивості піноскла найбільш близькі до властивостей розробленого матеріалу, то порівнювати цей матеріал слід саме з існуючим виробництвом піноскла.

Таблиця

Порівняльні технічні характеристики розробленого теплоізоляційного матеріалу з найбільш поширеними матеріалами, що випускаються промисловістю

Найменування показника	Значення показника				
	Вимоги ДСТУ Б В.2.6-189:2013	Розроблений матеріал	Піноскло	Піносилікат теплоізоляційний	Плита вермікулітова
Щільність, кг/м ³	не більше 800	220-240	120-200	300-500	350-600
Водопоглинання, %	-	28-32	1-10	30-50	10-50
Сорбційна вологість, %	не більше 12	4-5	0,1-1	8-12	15-17
Межа міцності при вигині, МПа	-	0,8-0,9	0,6-0,8	0,08-0,15	0,5-1,5
Межа міцності при 10 %-й деформації стискання, МПа	не менше 0,2	0,6-0,7	0,7-1,5	0,15-0,35	0,6-2,0
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/м·К	не більше 0,078	0,05-0,055	0,045-0,085	0,09-0,12	0,09-0,18
Температура експлуатації, °С	не менше 60	-60 – 600	-200-450	-50 – 400	-50-1100
Пористість, %	-	80-85	80-95	80-90	40-50
Характер пор	-	переважно закритий	переважно закритий	переважно відкритий	переважно відкритий
Розмір пор, мм	-	0,4-0,7	0,1-3	0,5-2	0,5-2

Порівняно з піносклом і технологією його виробництва, даний матеріал та пропонується мікрохвильова технологія його спучення характеризуються такими перевагами:

1. Вартість розробленого матеріалу складає приблизно 200 доларів за кубічний

метр, вартість піноскла складає в середньому приблизно 280 доларів.

2. Переваги технології отримання вказаного теплоізоляційного матеріалу. Пропонуваний матеріал можливо спінювати при температурі 110–120 °С під дією мікрохвильового випромінювання, в

той час як піноскло отримують випалом скломаси при температурі мінімум 750–850 °С. Тривалість процесу спучування і сушіння розробленого матеріалу – до 10 хв, тоді як спінювання і випал піноскла триває 1,5–2 год. Пропонована технологія надає можливість не тільки знизити енерговитрати, але й підвищити безпеку виробництва.

3. Спрощена схема спінювання маси з рідкого скла при розкладанні газоутворювача. Механізм реакції газо- і піноутворення піноскла досить складний і не обмежується тільки реакцією окислення вуглецю киснем повітря, більш важливу роль відіграють окислювально-відновні процеси взаємодії вуглецю з компонентами розм'якшеного скла. Застосовують з цією метою відходи звичайного скла або гірські породи з підвищеним вмістом лугів: трахіт, сієніт, нефелін, обсидіан, вулканічний туф. Як газоутворювачі застосовують кам'яно-вугільний кокс, антрацит, вапняк, мармур.

4. Процес отримання пропонованого матеріалу порівняно простий: отримання гранул, приготування зв'язуючого, змішування гранул і зв'язуючого, спучування під дією НВЧ випримиювання. Водночас виробництво якісного блокового (плитного) піноскла (а тим більше фасонних виробів з нього) справедливо вважається вельми технічно непростим завданням. Причиною тому є складність фізико-хімічних процесів безпосередньо при спінюванні, а також строгі вимоги до процесів фіксації і охолодження (відпалу) готової піни.

5. Найвища температура експлуатації піноскла – 450 °С, оскільки за температури ~500 °С починається розм'якшення скла, тоді як пропонований матеріал можна

використовувати при температурі до 600 °С без його руйнування.

6. Мікрохвильові технології, обладнання, а також отриманий з їх застосуванням продукт є екологічно чистими, тому що майже немає викидів в атмосферу шкідливих речовин. Мікрохвильова установка створює комфортні умови для обслуговуючого персоналу і не шкодить навколишньому середовищу.

Висновки. Таки чином, завдяки розробленій НВЧ технології отримання теплоізоляційного матеріалу на основі рідкого скла можна досягти рівня властивостей піноскла при зниженні витрат на виробництво. Використання НВЧ випромінювання дало змогу одночасно спучити рідкоскляний гранулят разом із зв'язуючим, завдяки об'ємному прогріву рідкоскляної композиції, та отримати міцний омонолічений матеріал з жорсткою, однорідною та переважно закритопористою структурою.

Термостійкість та негорючість цих матеріалів дозволяє використовувати їх у теплових промислових установках (промислових печах, казанах, автоклавах тощо). Така теплоізоляція забезпечує значну економію палива, сприяє збільшенню потужності теплових агрегатів і підвищенню їх ККД, забезпечує інтенсифікацію технологічних процесів, зниження витрати основних матеріалів. Теплоізоляція промислових установок, що працюють при високих температурах, сприяє також створенню нормальних санітарно-гігієнічних умов праці обслуговуючого персоналу в гарячих цехах і запобіганню виробничому травматизму.

Список використаних джерел

1. Горлов Ю. П. Технологии теплоизоляционных и акустических материалов и изделий. Москва: Высшая школа, 1989. 384 с.
2. Сердюк В. Р., Рудченко Д. Г., Августович Б. І. Особливості конструкції стіни з використанням ніздрюватих бетонів. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*: наук.-техн. збірник ВНТУ. Вінниця: ВНТУ, 2015. № 1(18). С. 33-38.

3. Дворкін Л. Й., Жидковський В. В. Технологія опоряджувальних теплоізоляційних та гідроізоляційних матеріалів: навч. посіб. Рівне: НУВГП, 2010. 223 с.
 4. Демидович Б. К. Пеностекло. Минск: Наука и техника, 1975. 248 с.
 5. Cellular Glass or Foamed Glass. Trade OF Industrial Insulation. Insulation – Materials, Science and Application. Module 4 – Unit 6. 2014.
 6. Ванецев А. С., Третьяков Ю. Д. Микроволновый синтез индивидуальных и многокомпонентных оксидов. *Успехи химии*. 2007. № 76 (5). С. 435-453.
 7. Архангельский Ю. С., Девяткин И. И. Сверхвысокочастотные нагревательные установки для интенсификации технологических процессов. Саратов: Саратов. гос. ун-т, 1983. 140 с.
 8. Сердюк В. Р., Сидлак А. С. Теоретические предпосылки внедрения СВЧ излучения при активации золы-унос для бетонных смесей. *Будівельні матеріали, виробу та санітарна техніка: наук.-техн. зб.* Київ, 2015. Вип. 56. С. 104–110.
 9. Шахин И. Х., Шапорев В. П. Обработка природного карбоната кальция в СВЧ-печи при воздействии поля бегущей электромагнитной волны. *Интегрированные технологии и энергосбережение*. Харьков: НТУ «ХПИ», 2004. № 2. С. 96-107.
 10. Женжурин И. А. Эффективность микроволновой обработки глинистых композиций при подборе шихты в технологии керамики. *Строительные материалы*. 2014. № 4. С. 60-65.
 11. Прохина А. В., Шаповалов Н. А., Латыпова М. М. Модификация поверхности глинистых минералов с высоким содержанием монтмориллонита в электромагнитном поле высокой частоты. *Современные наукоемкие технологии*. 2011. № 1. С. 135-136.
 12. Акимов А. Е. Повышение качества асфальтобетона путем обработки битума полем сверхвысокой частоты: автореф. дис... канд. техн. наук: Белгород, 2010. 20 с.
 13. Ревенко Б. С. Получение ячеистых бетонов с привлечением СВЧ-технологий. *Молодой учёный*. 2017. № 14 (148). С. 118-119.
 14. Компенсация усадки пенобетона / С. Н. Леонович, Д. В. Свиридов, Г. Л. Щукин, А. Л. Беланович, С. А. Карпушенков, В. П. Савенко. *Строительные материалы*. 2015. № 8 (632). С. 3-7.
 15. Małachowska A., Stachowicz M., Granat K. Innovative microwave hardening of water-glass containing sandmixes in technical-economic approach. *Archives of foundry engineering*. 2012. № 12. P. 75-80.
 16. Microwaves energy in curing process of water glass molding sands / K. Granat, D. Nowak, M. Pigiell, M. Stachowicz, R. Wikiera. *Archives of foundry engineering*. 2007. № 7. P. 183-188.
 17. Measurement and Monitoring of Microwave Reflection and Transmission Properties of Cement-Based Specimens / S. Kharkovsky, M.F. Akay, U. C. Hasar, C. D. Atis. *Transactions on instrumentation and measurement*. 2002. № 51 (6). P. 1210-1218.
 18. Кудряков А. И., Свергунова Н. А, Иванов М. Ю. Зернистый теплоизоляционный материал на основе модифицированной жидкостекольной композиции: монография / под ред. А. И. Кудрякова. Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2010. 204 с.
 19. Rymar T., Suvorin O. Comparison of properties of thermal insulation materials based on liquid glass obtained by volume and contact grouting. *Питання хімії та хімічної технології*. Дніпро. 2020. № 1. С. 47-52.
 20. Rymar T., Suvorin O. The choice of the grouting method for liquid glass granulate while obtaining composite thermal insulation materials. *Functional materials*. Kharkov, 2020. Vol. 27. № 3. P. 611-621.
-

Римар Тетяна Ернстівна, канд. техн. наук, доцент кафедри хімічної інженерії та екології Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9724-8640>.
Тел.: +38(050)1521443. E-mail: rymartatyana1975@gmail.com.

Rymar Tatyana, PhD (Tech.), Associate Professor of Chemical Engineering and Ecology Department, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9724-8640>. Tel.: +38(050)1521443.
E-mail: rymartatyana1975@gmail.com.

Статтю прийнято 07.10.2020 р.