

Римар Т. Е.

НВЧ ТЕХНОЛОГІЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ТЕПЛОВОЇ ІЗОЛЯЦІЇ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА ТРУБОПРОВОДІВ

Отримання якісних теплоізоляційних матеріалів основи рідинного скла з застосуванням традиційного конвективного нагріву неможливо через виникнення температурних градієнтів та повільний нагрів сировинної композиції, що призводить до не рівномірного її спучення. Застосування мікрохвильових установок досить новий технологічний прийом в промисловості теплоізоляційних матеріалів. Шляхи застосування НВЧ технології у виробництві теплоізоляційних матеріалів об'єднані одним загальним пунктом - можливістю об'ємного прогрівання шару матеріалу і скорочення енерговитрат на виробництво, що послужило визначальним фактом при виборі технології отримання композиційних матеріалів, які досліджуються у даній роботі. Розроблена енергоощадна технологія для отримання композиційних теплоізоляційних матеріалів на основі рідинного скла під дією енергії електромагнітного випромінювання, яка перетворюється на теплоту та сприяє інтенсивній поризації з об'ємним розширенням рідинноскляної композиції і гранульованого заповнювача, забезпечує високі експлуатаційні властивості ТІМ. Спучення при НВЧ нагріві рідинноскляних композицій одночасно з гранульованим заповнювачем в замкнутому просторі дозволяє отримувати теплоізоляційні вироби з заданою геометричною формою і розмірами. При такому способі отримання формується досить однорідна дрібнопориста структура всередині виробів, обмежена більш щільним поверхневим шаром. Фізико-механічні властивості таких матеріалів значно перевищують показники матеріалів отриманих шляхом омоноличування заздалегідь спучених гранул та шляхом спучення лише зв'язуючого без гранул. Такі матеріали характеризуються більш високими показниками міцності та на порядок нижчими показниками сорбційної вологості та водопоглинання, завдяки щільній упаковці гранул і рівномірному розподілу зв'язуючого у міжгранульному просторі.

Ключові слова: НВЧ технологія, рідинне скло, гранульований заповнювач, зв'язуюче, фізико-механічні властивості.

Актуальність дослідження. Теплова ізоляція трубопроводів, котельного обладнання, промислових печей широко застосовується в енергетиці, житлово-комунальному господарстві, хімічній, нафтопереробній, металургійній, харчовій та інших галузях промисловості. В енергетиці об'єктами теплової ізоляції є парові котли, газові турбіни, електрофільтри, теплообмінники, баки-акумулятори гарячої води, труби димові, труби парові, трубопроводи ТЕЦ. Теплоізоляційне покриття дозволяє створити безпечні умови праці на виробництві, знижує втрати тепла.

Постановка проблеми. У Додатку Н до ДСТУ-Н Б А.3.1-29:2015 «Магістральні трубопроводи. Нанесення захисних покривів та улаштування теплової ізоляції. Настанова» вказані вироби, рекомендовані до використання для теплової ізоляції енергетичного устаткування. На сьогоднішній день деякі види практично не виробляють. Крім того, ряд виробів має наступні особливості:

- матеріали на основі скловолокна мають обмеження по температурі використання - до 180 °С;
- матеріали на основі мінеральної вати мають модуль кислотності нижче 1,8, що приводить до рекристалізації волокна, а враховуючи вібраційну дію, мати саморуйнуються в прилеглому до гарячої поверхні шарі. Внаслідок чого, розрахункові характеристики зберігаються не більше ніж на 3-6 місяців, при температурі використання 400 °С і вище. Зрештою, теплові втрати збільшуються в 2,5 рази приблизно через рік або до 30% при менших температурах. Виходячи з вищевказаного, матеріали на основі мінеральної вати не можна застосовувати як теплову ізоляцію для устаткування, що піддається ударним діям високих температур і вібрації. А до такого відноситься практично все енергетичне устаткування;
- матеріали на основі базальтового супертонкого волокна і матеріали на основі мінеральної вати з модулем кислотності 2,2 визначені як вібростійкі і рекомендовані до використання при температурі до 700 °С. Але, і цим матеріалам характерні процеси деградації (плюс залістий розпад волокна). В результаті чого, підвищується теплопровідність конструкцій на 25% через 2-3 роки експлуатації і продовжує зростати в процесі подальшої експлуатації. Даним матеріалам характерна нестійка середня густина і через відсутність процесів релаксації, схильність до процесу вібраційного ущільнення;
- матеріали на основі муллітокремнеземістого керамічного волокна МКРР-130 і МКРВ-200 мають тривалий термін експлуатації (робоча температура 1150 °С), але піддаються підвищеному вібраційному ущільненню. Через те, що волокна зв'язані між собою органічним зв'язуючим, яке схильне до вигорання, механічна міцність мату забезпечується лише за рахунок переплетення волокон, а значить, дуже мала;
- матеріалам на основі кам'яної вати марок Nobasil, Paroc, Rockwool з робочою температурою 550-600 °С характерні досить високі теплофізичні показники. Але через присутність органічного зв'язуючого (до 2,5%) матеріали пригорають до ізолюваної поверхні. Схильність до вигорання зв'язуючого і процесів деградації волокон

через 2-3 роки експлуатації при температурах більше 400 °С приводить до віброуцільнення і збільшення теплопровідності конструкцій до 25%.

Таким чином велика частина традиційних теплоізоляційних матеріалів, які використовуються в теплоенергетиці, не можуть комплексно забезпечити норматив теплових втрат відповідно до ДСТУ-Н Б А.3.1-29:2015 [1].

Повністю відповідають вимогам нормативів, як матеріали для теплової ізоляції енергетичного устаткування, теплоізоляційні матеріали на основі рідинного скла. Головна перевага таких матеріалів - негорючість і стабільність властивостей при високих температурах.

Принцип отримання пористих матеріалів на основі рідинного скла ґрунтований на процесі випару адсорбованої та хімічно зв'язаної води, що міститься у складі лужного силікату, при підвищенні температури. Однак отримання якісних теплоізоляційних матеріалів за наведеною вище технологією з застосуванням традиційного конвективного нагріву неможливо, оскільки протікає повільний нагрів сировинної композиції, який призводить до втрат як вільної так і зв'язаної води і спучення при цьому майже не відбувається, або відбувається не рівномірно через виникнення температурних градієнтів.

Тому теплоізоляційні матеріали на основі рідинного скла виготовляють переважно у вигляді гранул та використовують у вигляді теплоізоляційних засипок. Широкого ж використання композиційних матеріалів на їх основі на даний час немає, що пов'язано з незадовільною якістю виробів, які отримують шляхом контактного омонолічування гранул зв'язуючим (переважно рідинним склом). Такі матеріали мають низьку міцність, особливо на згин, оскільки навіть при невеликих прикладених зусиллях елементарно ламаються в місцях контакту гранул, тому таким чином неможливо отримати, наприклад, теплоізоляційні напівциліндри для теплоізоляції трубопроводів.

Саме тому виготовлення композиційних ГІМ пропонується проводити на основі гранульованого неспученого заповнювача і рідинноскляного зв'язуючого під дією НВЧ випромінювання. За такою технологією відбувається одночасна поризація з об'ємним розширенням і рідинноскляних гранул і зв'язуючого, яке рівномірно заповнює міжгранульний простір. Здійснити таку технологію можливо лише в умовах об'ємного нагріву, що досягається за рахунок дії мікрохвильового випромінювання. До переваг мікрохвильового нагріву можна віднести його об'ємність і безінерційність, тобто нагрів матеріалу здійснюється відразу за усім об'ємом, що забезпечує відсутність або виникнення незначних температурних градієнтів у шарі матеріалу; високий коефіцієнт перетворення МХ енергії в тепло; вибірковість нагріву, тобто здатність поглинати і конвертувати МХ енергію в тепло.

Теоретичний аналіз дослідження. Деякими дослідниками було спробовано здійснити процес спучення сировинної рідинноскляної суміші під дією НВЧ випромінювання.

Так існує спосіб виготовлення пористого силікатного матеріалу [2] під дією надвисокочастотного випромінювання, склад для отримання якого включає: рідинне скло; карбонат кальцію; фторид алюмінію. Недоліком такого матеріалу є його висока середня густина - більше 330 кг/м³.

Відомий спосіб [3] при якому змішують наступні компоненти: рідинне скло, рослинна олія, двокальцієвий силікат, волокнистий наповнювач, мідний купорос і етанол. Отриману сировинну суміш укладають у форму і видаляють надмірну рідину шляхом ущільнення суміші. Сировинну суміш витримують у формі впродовж 24 годин і отримують сирець. Потім впродовж від 20 до 25 хв отриманий сирець піддають спученню шляхом дії на нього НВЧ випромінювання при об'ємній потужності випромінювання 40 кВт/л і частоті 2,45 ГГц.

Відомий також спосіб отримання пористого силікатного матеріалу [4] при якому змішують наступні компоненти: рідинне скло, фторфосфат кальцію, фторид алюмінію у присутності алкилбензолсульфатної кислоти, яка забезпечує спінювання маси. Отриманою масою заповнюють форму і проводять термообробку НВЧ випромінюванням. Під дією НВЧ випромінювання маса додатково спучується і набуває необхідну пористу структуру. Недоліками запропонованих технологій є також багатостадійність процесу, який включає етапи: пресування суміші, попереднє часткове обезводнення, остаточну сушку, випалення.

Спосіб виготовлення пористого силікатного матеріалу [5], що включає перемішування початкової маси з рідинного скла, неорганічного наповнювача (портландцемент або каустичний магнезит) і отверджувача (гексафторсилікат натрію) і нагрівання її дією надвисокочастотного випромінювання, відрізняється тим, що перемішування початкової маси здійснюють впродовж 10 - 20 хв, а нагрів роблять у надвисокочастотному полі з питомою енергією 0,5 - 0,65 кДж/см³ в режимі: підйом температури до 100 - 110 °С і витримка 2 - 5 хв, подальший підйом температура до 170 - 180 °С і витримка 6 - 12 хв. Близький за складом до вищеописаної композиції тих же авторів є патент [6]. Відмітною особливістю від вищеописаного патенту є застосування в суміші з натрієвим рідинним склом оксиднокарбонатного продукту MgO·CaCO₃ і фториду алюмінію. Термічна обробка отриманої композиції також проводиться в полі НВЧ при температурі 170-180 °С. Недоліком цих складів є те, що отримані з нього вироби мають велику середню густину на рівні 320 кг/м³.

Як видно, без застосування зернистого заповнювача вдавалося лише отримувати матеріали із середньою густиною більше 300 кг/м³, а багатостадійність процесу та висока вартість сировинних компонентів обмежує використання таких технологій.

Метою роботи є розробка енергоощадної НВЧ технології композиційних матеріалів для теплоізоляції високотемпературного обладнання та трубопроводів на основі рідинного скла.

Викладення основного матеріалу дослідження. НВЧ технологію пропонується здійснити шляхом одночасного спучення гранульованого напівфабрикату на основі рідинного скла та рідиннокляного зв'язуючого, яке піддається додатковій поризації застосуванням газоутворюючого компоненту. Шляхом введення гранул досягається зменшення деформативності та усадкових явищ в матеріалі, підвищення міцнісних властивостей теплоізоляційних виробів, оскільки гранули володіють певною пластичною деформацією, завдяки наявності в'язкопластичних властивостей гідрогеля, що міститься усередині гранули, а також зниження показників водопоглинання і сорбційної вологості, оскільки на поверхні гранули, після її формування у розчині хлориду кальцію утворюється частково кальцинований шар, який уповільнює кінетику поглинання води та її пари. Додаткова поризація зв'язуючого сприяє рівномірному його розподілу у міжгранульному просторі, що дозволяє уникнути крупних порожнеч в структурі матеріалу та підвищити його експлуатаційні властивості. А використання технології одночасного спучення гранул і зв'язуючого дозволяє досягти щільної упаковки гранул у шарі зв'язуючого, оскільки відбувається одночасна їх поризація з об'ємним розширенням, при цьому утворюється однорідна пориста структура спученого матеріалу. До того ж виключення стадії окремого спучення гранул позитивним чином буде відбиватися на техніко-економічних показниках виробництва ТІМ.

Рідиннокляна композиція (зв'язуюче), що використовується для виготовлення композиційних теплоізоляційних матеріалів, містить: як основний компонент - рідинне натрієве скло, як модифікатори коагуляційно-кристалізаційних процесів - оксид цинку і напівводний гіпс, як пороутворювач - пероксид водню, як піностабілізатор - оксигетильований алкілфенол. Як зернистий заповнювач використовуються неспучені гранули на основі РС і оксиду цинку.

Мінеральні добавки оксиду цинку і напівводного гіпсу використовуються з метою не тільки підвищення вогне- і водостійкості, жорсткості і міцності готового виробу, але і для зменшення впливу вільної води на спучуваність РСК шляхом зв'язування диполів води на частках модифікатора та зменшення термінів схоплювання (отвердження) рідинного скла.

Газоутворюючий агент при отриманні композиційних матеріалів призначений для збільшення пористості кінцевого виробу, і як наслідок, зниження його середньої густини і теплопровідності. Реакції розкладання H_2O_2 йдуть в присутності різних металів змінної валентності. Пов'язані в комплексні сполуки, вони часто значно посилюють свою активність. Роль катализаторів розкладання пероксиду водню можуть грати сполуки міді, заліза, кобальту, калій марганцевокислий, діоксид марганцю, марганець вуглекислий та ін.

Для оптимальної структури та стабілізації спученої РСК необхідно застосування в складі сировинної суміші піностабілізаторів – ПАР, які запобігають руйнуванню бульбашок газу і осіданню спученої системи.

Технологічна схема виготовлення даних композиційних матеріалів наведена на рис.1.

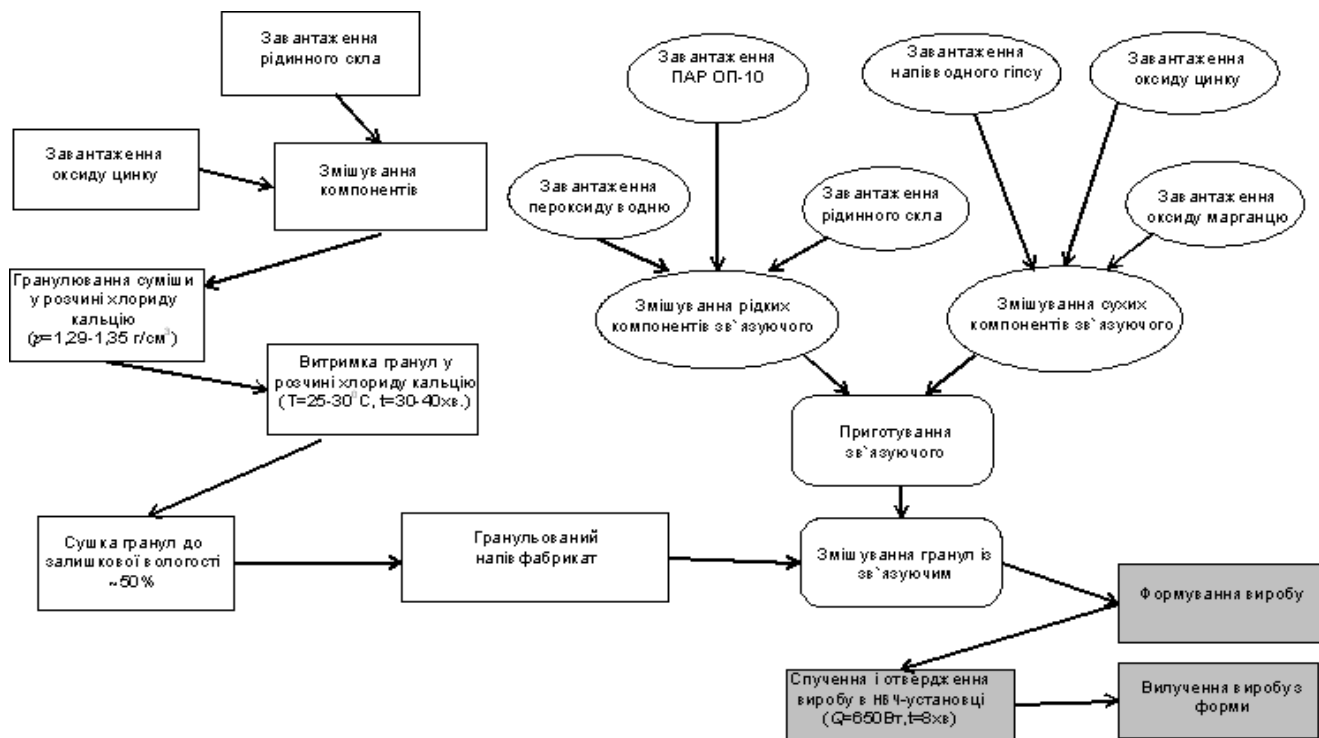


Рисунок 1 - Принципова технологічна схема виробництва композиційних ТІМ

Дана технологія [7-9] включає наступні стадії:

1. Отримання гранульованого напівфабрикату шляхом рідинної грануляції РСК в розчині хлориду кальцію і подальша сушка гранул до вмісту залишкової вологи ~50%.

2. Приготування зв'язуючого. Готується двокомпонентна система зв'язуючого. Перший компонент – рідкий, представляє собою суміш рідинного скла, газотворюючого агента (37% розчин пероксиду водню) і піностабілізатора. Другий – твердий, він є сумішшю сухих складових композиції: отверджувача, модифікуючої добавки та каталізатора розкладання пероксиду водню - MnO_2 . Далі проводиться змішування двох компонентів.

3. Перемішування рідинноскляного зв'язуючого і гранульованого (не спученого) напівфабрикату і формування виробу.

4. Спучення суміші зв'язуючого і гранул в НВЧ установці. Теплова обробка протікає при потужності НВЧ випромінювання 500-650 Вт, що відповідає температурі зразків 110-120 °С. Після охолодження виріб виймають з форми, вводити в експлуатацію його можна через 1-2 доби, після протікання всіх релаксаційних процесів.

Властивості ТІМ, отриманих за даною технологією пропонується порівняти з властивостями матеріалів отриманих шляхом омонолічування заздалегідь спучених гранул та шляхом спучення лише зв'язуючого без гранул. Зовнішній вигляд таких матеріалів наведений на рис. 2, їх властивості - в табл. 1.

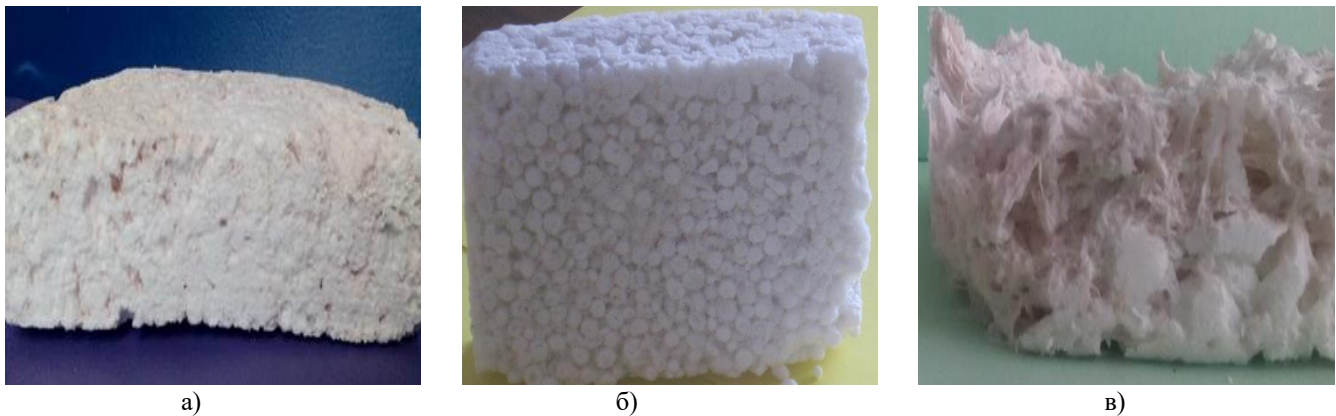


Рисунок 2 - Зовнішній вигляд композиційних ТІМ отриманих під дією НВЧ випромінювання шляхом: а) одночасного спучення гранул і зв'язуючого, б) омонолічування заздалегідь спучених гранул, в) спучення лише зв'язуючого без гранул

Таблиця 1

Фізико-механічні властивості композиційних теплоізоляційних матеріалів

Найменування показника	Значення показника ТІМ, отриманих			Вимоги ДСТУ Б В.2.6-189:2013
	одночасним спученням гранул і зв'язуючого	омонолічуванням заздалегідь спучених гранул	спученням зв'язуючого без гранул	
Середня густина, $кг/м^3$	220-240	270-280	200-210	н/б 800
Водопоглинання, %	30-31	230-240	300-310	-
Сорбційна вологість, %	4-5	33-34	40-45	н/б 12
Міцність на згин, МПа	0,8-0,9	0,6-0,7	0,1-0,2	-
Міцність на стиск, МПа	0,6-0,7	0,4-0,5	0,08-0,1	н/м 0,2
Коефіцієнт теплопровідності, $Вт/м \cdot К$	0,05-0,055	0,06-0,065	0,065-0,07	н/б 0,078

Спучення при НВЧ нагріві рідинноскляних композицій одночасно з гранульованим заповнювачем в замкнутому просторі дозволяє отримувати теплоізоляційні вироби з заданою геометричною формою і розмірами. При такому способі отримання формується досить однорідна дрібнопориста структура всередині виробів, обмежена більш щільним поверхневим шаром. Фізико-механічні властивості таких матеріалів значно перевищують показники матеріалів отриманих шляхом омонолічування заздалегідь спучених гранул та шляхом спучення лише зв'язуючого без гранул. Такі матеріали характеризуються більш високими показниками міцності та на порядок нижчими показниками сорбційної вологості та водопоглинання, завдяки щільній упаковці гранул і рівномірному розподілу зв'язуючого у міжгранульному просторі.

Висновки. Застосування мікрохвильових установок досить новий технологічний прийом в промисловості теплоізоляційних матеріалів. Шляхи застосування НВЧ технології у виробництві теплоізоляційних матеріалів об'єднані одним загальним пунктом - можливістю об'ємного прогрівання шару матеріалу і скорочення енерговитрат

на виробництво, що послужило визначальним фактом при виборі технології отримання композиційних матеріалів, які досліджувались у даній роботі. Розроблена енергоощадна технологія для отримання композиційних теплоізоляційних матеріалів на основі рідинного скла під дією енергії електромагнітного випромінювання, яка перетворюється на теплоту та сприяє інтенсивній поризації з об'ємним розширенням рідинноскляної композиції і гранульованого заповнювача, забезпечує високі експлуатаційні властивості ТІМ, що задовольняють вимогам ДСТУ Б В.2.6-189:2013 та ДСТУ-Н Б А.3.1-29:2015.

Література

1. Модернізація теплових агрегатів. URL: <https://inventum.com.ua/uk/articles/preimushhestva-primeneniay-sovremenux-materialov-na-osnove-keramicheskogo-voлокna-v-energetike.html>
2. Масса для изготовления пористого силикатного материала под действием сверхвысокочастотного излучения: пат. 2134667С1 Россия: МПК С04В28/26, С04В111:20. № 98109872/03; заявл. 29.05.1998, опубл. 20.08.1999.
3. Способ изготовления вспученного силикатного материала: пат. 2060238С1 Россия: МПК С04В28/24, С04В111:40. № 95102077А; заявл. 21.02.1995, опубл. 20.05.1996.
4. Масса для изготовления пористого силикатного материала под действием сверхвысокочастотного излучения: пат. 2133718 Россия: МПК С04В28/24, С04В111:20, С04В38:00. № 98109874/03; заявл. 29.05.1998, опубл. 27.07.1999.
5. Способ изготовления пористых силикатных материалов: пат. 2134668 Россия: МПК С04В28/26, С04В111:20. № 98109881/03; заявл. 29.05.1998, опубл. 20.08.1999.
6. Масса для изготовления пористого силикатного материала под действием сверхвысокочастотного излучения пат. 2134669 Россия: МПК С04В28/26. № 98109881/03; заявл. 29.05.1998, опубл. 20.08.1999.
7. Рymar Т.Е. Газоутворювачі для піноматеріалів на основі рідкого скла. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. Вінниця. 2017. № 6 (135). С. 9-13.
8. Рymar Т.Э. Изучение влияния поверхностно-активных веществ на свойства жидкостекольных теплоизоляционных материалов. *Вісник НТУ «ХПИ»*. Харків. 2017. № 48 (1269). С. 62-67.
9. Rymar T. Determining the technological mode of foaming of blocked heat – insulating material based on liquid glass in microwave equipment. *Functional materials*. Kharkov. 2018. Vol 25. № 2. P. 376-380.

References

1. Modernizatsiia teplovykh ahrehativ. URL: <https://inventum.com.ua/uk/articles/preimushhestva-primeneniay-sovremenux-materialov-na-osnove-keramicheskogo-voлокna-v-energetike.html>
2. Massa dlia yzgotovleniya porystoho sylykatnoho materyala pod deistvyem sverkhvysokochastotnoho yzlucheniya: pat. 2134667С1 Rossyia: МПК S04V28/26, S04V111:20. № 98109872/03; zaiavl. 29.05.1998, opubl. 20.08.1999.
3. Sposob yzgotovleniya vspuchennoho sylykatnoho materyala: pat. 2060238S1 Rossyia: МПК S04V28/24, S04V111:40. № 95102077A; zaiavl. 21.02.1995, opubl. 20.05.1996.
4. Massa dlia yzgotovleniya porystoho sylykatnoho materyala pod deistvyem sverkhvysokochastotnoho yzlucheniya: pat. 2133718 Rossyia: МПК S04V28/24, S04V111:20, S04V38:00. № 98109874/03; zaiavl. 29.05.1998, opubl. 27.07.1999.
5. Sposob yzgotovleniya porystykh sylykatnykh materyalov: pat. 2134668 Rossyia: МПК S04V28/26, S04V111:20. № 98109881/03; zaiavl. 29.05.1998, opubl. 20.08.1999.
6. Massa dlia yzgotovleniya porystoho sylykatnoho materyala pod deistvyem sverkhvysotochastotnoho yzlucheniya pat. 2134669 Rossyia: МПК S04V28/26. № 98109881/03; zaiavl. 29.05.1998, opubl. 20.08.1999.
7. Rymar T.E. Hazoutvoriuvachi dlia pinomaterialiv na osnovi ridkoho skla. *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*. Vinnytsia. 2017. № 6 (135). S. 9-13.
8. Рymar Т.Э. Yzuchenye vliyaniya poverkhnostno-aktyvnykh veshchestv na svoistva zhydkostekolnykh teployzolyatsyonnykh materyalov. *Visnyk NTU «KhPI»*. Kharkiv. 2017. № 48 (1269). S. 62-67.
9. Rymar T. Determining the technological mode of foaming of blocked heat – insulating material based on liquid glass in microwave equipment. *Functional materials*. Kharkov. 2018. Vol 25. № 2. P. 376-380.

Obtaining high-quality heat-insulating materials based on liquid glass using traditional convective heating is impossible due to the occurrence of temperature gradients and slow heating of the raw material composition, which leads to uneven swelling. The use of microwave installations is a fairly new technological technique in the industry of heat-insulating materials. Ways of applying microwave technology in the production of heat-insulating materials are united by one common point - the possibility of volumetric heating of the material layer and reduction of energy consumption for production, which served as a determining fact when choosing the technology for obtaining composite materials, which are studied in this work. The developed energy-saving technology for obtaining composite heat-insulating materials based on liquid glass under the action of electromagnetic radiation energy, which is transformed into heat and promotes intensive porosization with volume expansion of the liquid-glass composition and granular aggregate, ensures high operational properties of TIM. Swelling during microwave heating of liquid-glass compositions simultaneously with granular aggregate in a closed space makes it possible to obtain heat-insulating products with a given geometric shape and dimensions. With this method of production, a fairly homogeneous fine-porous structure is formed inside the products, limited by a denser surface layer. The physical and mechanical properties of such materials significantly exceed the indicators of materials obtained by monolithizing pre-swollen granules and by swelling only the binder without granules. Such materials are characterized by higher strength indicators and an order of magnitude lower indicators

of sorption moisture and water absorption, due to the dense packing of granules and uniform distribution of the binder in the intergranular space.

Key words: *microwave technology, liquid glass, granular aggregate, binder, physical and mechanical properties.*

Римар Т. Е. – доцент кафедри хімічної інженерії та екології Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля