

**ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ СУДНОБУДІВНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

**Невинський О.Г.**, к.т.н., доцент,  
*Чорноморський національний університет ім. Петра Могили*  
vip.chvir@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7168-0299

**Анотація.** Представлені результати досліджень по оптимізації складу та технології виробництва вермікуліто-силікатних конструкційно-оздоблювальних матеріалів (ВСМ) широкого спектру застосування, що дозволило одержати матеріали з високими фізико-механічними та експлуатаційними характеристиками, які відповідають рівню сучасних технічних вимог. Досконало вивчено причини впливу різних факторів на природу взаємодії інгредієнтів прескомпозиції, що забезпечує цілеспрямоване керування структурою та властивостями композитного вермікуліто-силікатного матеріалу.

**Ключові слова:** фізико-хімічні дослідження, оптимізація складу, вермікуліто-силікатний конструкційно-оздоблювальний матеріал.

**Постановка проблеми.** Актуальною задачею нашого часу у вітчизняному суднобудуванні, так само як і інших галузях промисловості і будівництва, є забезпечення пожежної безпеки суден, пасажирських вагонів, промислових і цивільних об'єктів. Одним з основних засобів забезпечення пожежної безпеки є застосування негорючих і нетоксичних під час пожежі матеріалів і виробів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Широке застосування в цивільному і промисловому будівництві, суднобудуванні, та інших галузях знаходять плитні вермікулітові композиційні матеріали й вироби на їхній основі [1, 2]. Ці матеріали характеризуються високими технічними і експлуатаційними властивостями і, крім того, забезпечують вимоги протипожежної безпеки. Наприклад, дуже поширене використання мають імпорتنі конструкційно-оздоблювальні плити “Верміпан” (фірма “Келлер”, Швейцарія), “Термакс” (фірма “Ізовольта”, Австрія) тощо [3, 4].

Вітчизняним аналогом цих виробів є вермікуліто-силікатний композиційний негорючий азбестневміщуючий матеріал (ВСМ), розроблений в Національному університеті кораблебудування [5, 6]. В подальшому, в його удосконаленні приймали участь фахівці НУ «Львівська політехніка» [7]. Авторами застосовано метод гарячого пресування з композиції на основі спученого вермікуліту та лужно-силікатної в'язучої речовини. У суднобудуванні, наприклад, цей матеріал пропонується для використання при формуванні судових приміщень, виготовлення дверних блоків, судових меблів тощо.

**Мета та завдання.** На основі комплексних фізико-хімічних експериментальних досліджень оптимізувати рецептурний склад і вдосконалити технологічний процес виготовлення композитного матеріалу для підвищення його фізико-механічних та експлуатаційних характеристик до рівня сучасних технічних вимог. При цьому досконало вивчити причини впливу різних факторів на природу взаємодії інгредієнтів прес-композиції.

**Матеріали та методика дослідження.**

*Характеристика вихідних матеріалів.* Для проведення досліджень як основні сировинні компоненти були застосовані:

- спучений перліт (ДСТУ Б В.2.7-157:2011) марки 100 Береговського родовища;
- скло рідке натрієве (ТУ У 20.1-00293255-004:2014) з модулем 2,5-3,0 різноманітної густини та в'язкості;
- як затверджувачі – натрію гексафлюорид силікат (ТУ 6-090146-76) та кріоліт;
- вермікуліт спучений (ДСТУ Б В.2.7-280:2011) середньої фракції (лінійний розмір частинок 1,2...2,5 мм), виготовлений вітчизняним виробником із концентрату Ковдорського

родовища (Росія).

Слід зазначити, що Україна має великі запаси вермикулітової сировини [8], зосередженої у кількох родовищах із сприятливими гідрогеологічними умовами для їхньої розробки. Це робить перспективним створення своєї вермикулітової промисловості, але на даний час роботи у цьому напрямку не здійснюються. Тому у даних дослідженнях використовувався імпортований концентрат.

Згідно Ейтеля [9] для вермикуліту – мінералу з групи гідрослюд, здатного спучуватися при нагріванні, характерна шарувата пакетна структура: два елементарних шари силіційоксигенових тетраедрів і шар між ними, що складається з гідратованих іонів магнію, феруму та алюмінію, утворюють міцно зв'язаний слюдяний пакет. У результаті того, що певна кількість іонів  $Si^{4+}$  в тетраедрах заміщена на іони  $Al^{3+}$ , кожен пакет набуває надлишкового негативного заряду, що врівноважується катіонами  $K^+$ , розташованими між пакетами. Загальна формула вермикуліту може бути записана так:  $K_{0,3-0,5} (Mg, Fe, Al)_{2,8-3} \cdot (H_2O)_{3-5} [(Si, Al)_4O_{10}]$ . У спученому стані подібна структура є передумовою сорбційної здатності, що зумовлює широке поле використання [10].

• Як сировинні добавки застосовували гідрофобізатори, модифікатори й армуючі речовини у вигляді емульсій, суспензій, порошків і диспергованих волокнистих матеріалів, що вводили до композиції на стадії її приготування.

*Методика проведення дослідів.* Відповідно до програми був проведений комплекс робіт по удосконаленню зазначеного композитного негорючого плиткового матеріалу ВСМ заданою густиною від 300 до 700 кг/м<sup>3</sup>.

За основні оціночні показники якості були прийняті: горючість, межа міцності при статичному згині, сорбційна вологість, водопоглинання, які визначали відповідно до діючих стандартів. Основними етапами дослідження були: визначення оптимального співвідношення основних рецептурних компонентів (вермикуліт - в'язуча речовина - отверджувач); вивчення впливу сировинних добавок (гідрофобізаторів, модифікаторів та армуючих речовин), а також удосконалення технологічних параметрів пресування (ступеня ущільнення матеріалу, часу витримки у пресі, температури пресування тощо).

Термогравіметрія була проведена на апараті Q-1000 фірми МОМ при атмосферному тиску до температури 1000 °С зі швидкістю нагрівання 10 град./хв. Петрографічні дослідження виконані на мікроскопах МБС-2 і МІН-8.

Для дослідження мікроструктури проб вермикуліто-силікатного матеріалу були виконані знімки на скануючому мікроскопі фірми «Jeol» зі свіжого відколу зразка з відтискуванням золотом при збільшенні від 1000 до 3000 разів.

**Результати досліджень.** Відповідно до технологічного регламенту на проведення експериментальних робіт виготовлення дослідних зразків плитного композитного матеріалу здійснювали шляхом послідовних операцій: приготування емульсій в'язучої речовини диспергуванням у рідкому склі спеціальних добавок за присутності поверхнево-активної речовини (ПАР); змішування у лабораторному змішувачі твердих дисперсних сировинних компонентів із емульсією сполучного до одержання однорідної, рихлої, напівсухої маси композиції; формування із неї прес-ковдри у пресформі; термопресування зразків розміром 240×160×20 мм на лабораторному пресі з наступною витримкою їх у пресформі в стиснутому стані, протягом часу, необхідному для прогріву; природне сушіння зразків за умов, що виключають деформацію (у вертикальному положенні при температурі не вище 40...45 °С), до постійної ваги.

Аналіз експериментальних даних, які представлені на рис. 1 свідчить, що оптимальними (з погляду досягнутої міцності і водостійкості відповідних зразків) є прес-композиції, що містять у своєму складі 30 % (мас.) в'язучої речовини.

Зразки матеріалу, до складу яких в'язучої речовини введено менше 20 %, відрізняються значною крихкістю, зразки зі змістом в'язучої речовини більше 40 % – значною густиною при одночасному зниженні міцності.

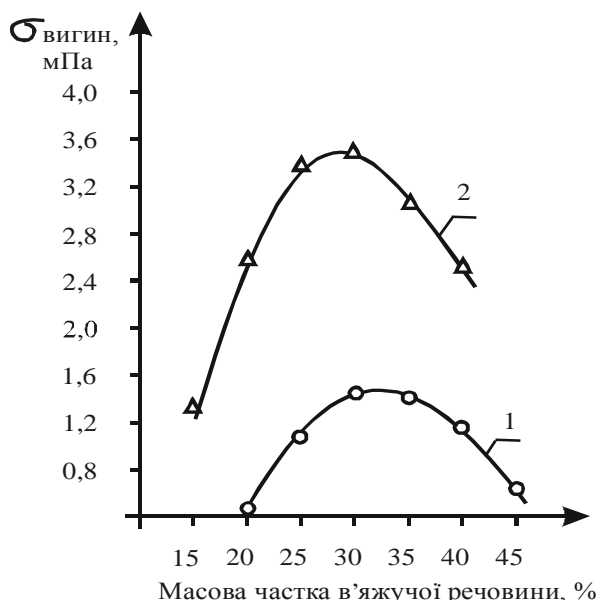


Рис. 1. Вплив вмісту в'язучої речовини на характеристики міцності композиту густиною (кг/м<sup>3</sup>):  
1 – 400 ± 5% і 2 – 700 ± 5%

Відсутність у рецептурі отверджувача (за цих умов його масова частка поділяється пропорційно між іншими компонентами і густина матеріалу дещо знижується) майже не впливає на показники міцності плитного матеріалу за умови, що він не підлягав перед іспитами зволоженню. У вологому стані такий матеріал майже повністю втрачає міцність, якщо його висушити міцність не досягатиме 50 % початкового значення. З цього погляду (з урахуванням співвідношення показників матеріалу – густина : міцність) найбільш придатною є композиція, що вміщує 10 % отверджувача. За умов семиденної витримки такого матеріалу під водою його міцність на вигин зменшується не більше ніж на 10%.

Заміна нефракціонованого вермикуліту у досліджуваній рецептурі на фракціонований забезпечує суттєве підвищення міцності матеріалу в порівнянні з вихідним (у середньому не менш ніж на 20...25 %). Як

випливає із результатів, наведених на рис. 2, зразки матеріалу (з густиною від 500 до 700 кг/м<sup>3</sup>) на основі пилоподібної фракції (максимальний розмір частинок до 0,6 мм) відрізняються дуже низькими значеннями міцності.

Зразки матеріалу із заданою густиною 350 кг/м<sup>3</sup> з такої фракції вермикуліту виготовити практично не можливо (руйнуються під час вийму з пресформи). Найкращі характеристики мають зразки матеріалу підвищеної густини, виготовлені з застосуванням фракції 1 – 2 мм. Для виготовлення більш легкого матеріалу краще використовувати вермикуліт фракції 3 – 5 мм.

Як армуючі компоненти були досліджені каолінове, вермикулітове та базальтове

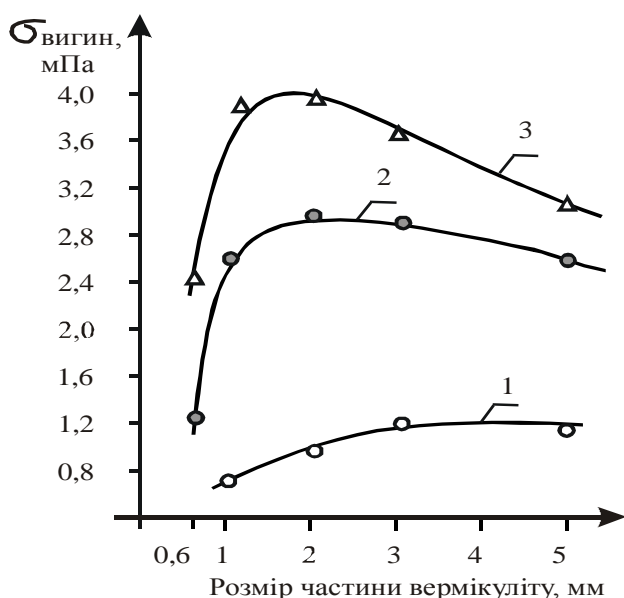


Рис. 2. Залежність показників міцності композиту густиною (кг/м<sup>3</sup>):  
1 – 350 ± 5 %; 2 – 500 ± 5 %;  
3 – 700 ± 5 % від фракційного складу вермикуліту

волокно, каолінова і базальтова вата по одинці або в суміші. Армуючий компонент перед подрібненням попередньо обробляли розчином ПАР, висушували, роздрили на частинки завдовжки не більше 5 мм. Застосування ПАР забезпечувало можливість роз'єднання волоконця і наступне рівномірне їх розповсюдження між частинками наповнювача при перемішуванні.

Застосування армуючого компоненту нівелює внутрішні напруги у матеріалі, запобігає появі мікрошпарин на поверхні плитного матеріалу під час остигання, суттєво підвищує його фізико-механічні властивості й гарантує при цьому здобуття високоякісного продукту.

Згідно даних табл. 1, включення до складу сировинної суміші обмеженої кількості спученого перліту замість аналогічної кількості спученого вермикуліту (не більш 10 % від маси композиції) сприяє поліпшенню міцностних характеристик

плитного матеріалу при одночасному зниженні густини виробу (з незначним збільшенням сорбційної вологості).

Таблиця 1 – Вплив добавок спученого перліту на характеристики зразків матеріалу

Вміст перліту, мас. %	Густина матеріалу, кг/м <sup>3</sup>	Межа міцності при вигині, МПа	Сорбційна вологість, мас. %
3,0	381	1,35	0,97
5,0	370	1,41	1,05
10,0	354	1,48	1,00
15,0	350	1,27	1,54
20,0	346	1,21	2,01
30,0	338	1,02	3,05

Позитивний вплив на характеристики матеріалу має застосування модифікаторів рідкого натрієвого скла (табл. 2).

Таблиця 2 – Результати застосування модифікаторів в'язучої речовини

Матеріал, густина якого дорівнює, кг/м <sup>3</sup>	Значення межі міцності на вигин, МПа, для зразків матеріалу, який виготовлено із використанням		
	немодифікованого рідкого натрієвого скла	рідкого натрієвого скла, якого модифіковано	
		полівінілацетатним клеєм	карбамідним клеєм
300 ± 5%	1,0	1,2	1,4
500 ± 5%	2,2	2,5	2,8
700 ± 5%	3,5	4,0	4,5

Як впливає з даних рис. 3 оптимальним температурним режимом пресування є пресування в інтервалі 120...140 °С при витримці виробу в пресформі протягом періоду, розрахованого зі співвідношення 1...1,5 хвилини на 1 мм товщини виробу.

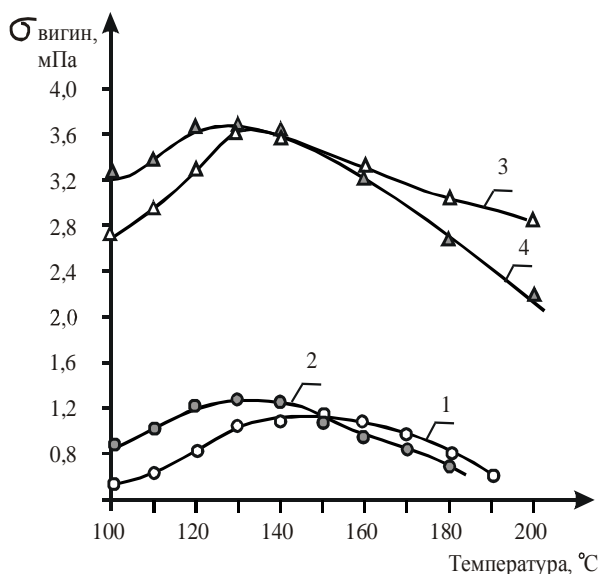


Рис. 3. Вплив температури та часу пресування на характеристики міцності композиту густиною (кг/м<sup>3</sup>):  
1, 2 – 400 ± 5% і 3, 4 – 700 ± 5%.  
Час пресування (хв.): 1, 3 – 5; 2, 4 – 30

У процесі пошуку оптимальної рецептури та режимів пресування, з метою з'ясування причин впливу різних факторів на природу взаємодії компонентів прес-композиції були проведені термогравіметричні, петрографічні й електронно-мікроскопічні дослідження вихідної сировини (спучений вермикуліт Ковдорського родовища) і його композицій на силікатному в'язучому при наступному співвідношенні вмісту компонентів 60:30:10 (спучений вермикуліт – рідке натрієве скло – натрію гексафлуоридсилікат).

Проби вермикуліту показали наступні тармогравіметричні характеристики: при 80...100 °С він втрачав гігроскопічну вологу, при 200 °С молекулярну воду і при 790 °С необоротно руйнувався при виділенні гідроксильної води з переходом у енстатит (із загальною втратою маси до 16 %), при 835-840 °С у пробах відбувався процес поліморфізму.

Силікатне в'язуче основну кількість води (53,2 %) втрачало у два прийоми при  $T = 110$  і  $450$  °С, при подальшому нагріванні мали місце два поліморфних переходи при  $T = 560$  і  $590$  °С, а при температурі  $630$  °С розкладання відбувалось із утратою 2,5 % маси.

На термограмах зразків композитного матеріалу чітко видно ефекти в'язучої речовини і вермикуліту. Звідси можна зробити висновок, що термогравіметричний аналіз зразків композитного матеріалу в явній формі хімічної взаємодії сполучного з вермикулітом не зафіксував. Однак не виключено, що продукти взаємодії можуть мати ефекти, що збігаються з ефектами вихідних сировинних компонентів.

Тому було проведено петрографічне дослідження структури проб вермикуліту і зразків композиту на його основі (при збільшенні від 20 до 200 разів).

Згідно результатів такого дослідження, вермикуліт є мінералом класу силікатів із загальною формулою  $Mg_{0,3-0,5} \cdot (H_2O)_{3-5} \cdot (Mg, Fe, Al)_{2,8-3} \cdot [(Si, Al)_4O_{10}]$  і являє собою триоктаедричну гідрослюду, у міжпакетному просторі якої знаходяться обмінні катіони з оболонкою з молекул води. Досліджені проби вермикуліту являли собою кристали пластинчастого типу псевдогексагональних обрисів, слабо плеохроїчні,  $N_g = 1,565 \pm 0,005$ ,  $N_p = 1,535 \pm 0,005$ . Колір від бронзово-жовтого до ясно-сірого.

Досліджувалися зразки композита одного складу, відпресовані при однаковому режимі (температура  $150$  °С, час пресування 30 хвилин), але різної густини одержуваного матеріалу: від  $400$  до  $1200$  кг/м<sup>3</sup>.

Було показано, що структура досліджених зразків виконана частками вермикуліту бронзово-жовтого і ясно-сірого кольору розміром від 1 до 3 мм. Сполучне розташовується у вигляді тонких прошарків (у місці утворення пір) більш темного кольору ніж вермикуліт. Прошарки мали вигляд скла. При низьких значеннях густини ( $400 \dots 500$  кг/м<sup>3</sup>) матеріал дуже пористий, площа пір досягає 50 %, зерна вермикуліту мають чіткі геометричні розміри, блискучу недеформовану поверхню. Зі збільшенням густини матеріалу до  $800 \dots 850$  кг/м<sup>3</sup> зменшується площа пір до 5...10 %, розмір зерен вермикуліту зменшується, форма зерен здобуває округлі обриси. З'являється іноді значна кількість ніби то розпушених зерен вермикуліту, у яких йде руйнування міжпакетних, міжшарових зв'язків, що дає можливість говорити, що виділення молекулярної води з ростом тиску знижується в область більш низьких температур: з  $200 \dots 300$  °С до  $150$  °С. З'являється значна кількість дрібнокристалічного матеріалу білого чи молочно-білого кольору, що заповнює пори й покриває поверхню зерен вермикуліту. Це швидше за все плівки і вкраплення в'язучої речовини в аморфному стані.

При збільшенні густини матеріалу до  $1200$  кг/м<sup>3</sup> була отримана практично максимальна щільність упакування зерен вермикуліту і, відповідно, мінімальна пористість. Проба даної пористості має як би єдину блискучу поверхню, де всі зерна вермикуліту і прошарки між ними заповнені склом темно-сірого кольору.

За допомогою електронного мікроскопу був досліджений вплив температури пресування (від  $110$  °С до  $180$  °С) композитного матеріалу. Дослідження робили на свіжому відколі проби з відтискуванням золотом при збільшенні від 1000 до 2000 разів. Це дослідження показало, що основне руйнування проби при одержанні свіжого відколу відбувалося, як правило, по прошарку в'язучої речовини. На всіх знімках не видно чистих пластин вермикуліту, що чітко проглядаються петрографічним методом.

Було показано, що при низьких температурах пресування (до  $110$  °С) в'язуче являло собою аморфні плівки. При збільшенні температури пресування до  $180$  °С прошарки в'язучої речовини сильно розпушувались паром води, що виділялась безпосередньо з неї й у незначній мері з самого вермикуліту, і являли собою конгломерати безформних пластинчастих частинок, що утворювали подобу «стілникової» структури. Розмір часток коливався від 1...2 мк до 12...20 мк.

**Висновки.** Комплекс проведених досліджень дозволив визначити оптимальний рецептурний склад прес-композицій та удосконалити технологічний процес. На підставі цього виготовлено дослідну партію плитного конструкційно-оздоблювального матеріалу

різної густини. Результати випробувань фізико-механічних і технічних властивостей цього матеріалу наведені у табл. 3.

Таблиця 3 – Деякі характеристики удосконаленого конструкційно-оздоблювального матеріалу

Назва показників і одиниці вимірювання	Значення фізико-механічних і технічних показників для матеріалу густиною (кг/м <sup>3</sup> )		
	300 ± 5 %	500 ± 5 %	700 ± 5 %
1. Коефіцієнт теплопровідності, Вт/м·К	0,11	0,12	0,14
2. Межа міцності на згин, МПа	1,6	3,5	5,5
3. Водопоглинання, %	25	20	20
4. Вогнестійкість, год.	2,5	2,5	2,5
5. Горючість	негорючий	негорючий	негорючий

Аналіз одержаних результатів, свідчить про позитивні досягнення у підвищенні властивостей плитного конструкційно-оздоблювального вермікуліто-силікатного матеріалу, порівняно з його аналогами. В той же час досягнений рівень значною мірою обмежений можливостями застосованої в'язучої речовини. Робота на шляху удосконалення якості в'язучої речовини і, відповідно, властивостей композитного матеріалу в цілому є предметом подальших досліджень

### Література

1. Инджиевская И.Г. Композиционный материал на основе вспученного вермикулита для огнезащитных покрытий / И.Г. Инджиевская, Н.Г. Васильевская, О.В. Гофман, Г.В. Игнатъев // Фундаментальные исследования (РФ). – 2016. – № 2-1. – С. 48-53.
2. Поведение огнезащитных материалов на основе вермикулита, перлита и минеральной фибры в условиях пожара: монография / Ю.М. Тихонов [и др.]. – [Электронный ресурс]. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2016.–148 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/65841.html>. – ЭБС «IPRbooks».
3. Каталог виробів фірми “Келлер”, Швейцарія. – Берн: Verlag «WST», 2006. – 8 с.
4. Патент 54416 Україна, МПК СО4В14/20, ЕО4В1/74. Спосіб виготовлення негорючих формованих виробів, зокрема будівельних плит / Томандль Ервін, АТ; власник Термакс – Браншцубаутайле гезельшафт МБХ, АТ (Австрія). - № 98094974; заявл. 17.02.97; опубл. 17.03.03. – К: Промислова власність. – 2003. - № 3. – С. 3.37
5. Деклараційний патент України на винахід 54130 А Україна, МПК<sup>7</sup> СО4В28/26, ЕО4В1/74 Спосіб виготовлення конструкційно-оздоблювального матеріалу та композиція, яка призначена для використання в способі / О. Г. Невинський (Україна); власник УДМТУ ім. адмірала Макарова. – №2002054146; заявлено 21.05.02; опубл. 17.02.03. – К: Промислова власність. – 2003. – № 2. – С. 4.1.
6. Патент 75451 Україна, МПК(2006) СО4В 28/26, ЕО4В 1/74. Спосіб виготовлення конструкційно-оздоблювального матеріалу та композиція для його виготовлення / О. Г. Невинський, С. Ю. Кельїна (Україна); власник УДМТУ ім. адмірала Макарова. – №2004032084; заявлено 22.03.04; опубл. 17.04.06. – К: Промислова власність. – 2006. – № 4. – С. 3.78.
7. Невинський О.Г. Удосконалення вермікуліто-силікатного матеріалу / О.Г. Невинський, М.М. Гивлюд, Я.І. Вахула // Вісник Національного університету “Львівська

політехніка”. Тематичний випуск “Хімія, технологія речовин та їх застосування”. – Львів: Вид-во НУ “Львівська політехніка”. – 2007. – № 590. – С. 340-345.

8. Ахтямов Р. Я. Вермикулит України / Р. Я. Ахтямов // Строительные материалы и конструкции. – К.: Будівельник. – 1991. – № 2. – С. 14–15.

9. Эйтель В. Физическая химия силикатов / Вильгельм Эйтель [пер. с англ. А. А. Леонтьевой, И. А. Островского и др.; под ред. Н. Н. Курцевоц и др.]. – М.: Из-во иностр. лит., 1962. – 1055 с.

10. Невинський О.Г. Вивчення фізико-хімічних процесів, що відбуваються у вермикуліт-силікатних сумішах при термообробці і формуванні матеріалу. Частина I (рентгенофазовий аналіз) / О.Г. Невинський, Я.І. Вахула // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2010. – Вип. 40. – С. 228-235.

### References

- [1] I.H. Indzhevskaiia, N.H. Vasylovskaiia, O.V. Hofman, H.V. Ihnatev, "Kompozytsyonnyi material na osnove vspuchennoho vermykulita dlia ohnezashchytnykh pokrytyi", *Fundamentalnye issledovaniia (RF)*, no. 2-1, pp. 48-53, 2016.
- [2] U.M. Tykhonov i dr., "Povedenye ohnezashchytnykh materialov na osnove vermykulita, perlita y mineralnoi fibry v usloviakh pozhara": monohrafiia. [Elektronnyi resurs]. SPb.: Sankt-Peterburhskiyi hosudarstvennyi arkhitekturo-stroitelnyi universitet, EBS ASV, 2016. Rezhym dostupa: <http://www.iprbookshop.ru/65841.html>. – EBS «IPRbooks».
- [3] *Kataloh vyrobiv firmy "Keller"*, Shveitsariia. Bern: Verlag «WST», 2006.
- [4] *Patent 54416 Ukrayina, MPK SO4V14/20, EO4V1/74*. Sposib vigotovlennya negoryuchih formovanih virobiv, zokrema budivelnih плит / Tomandl Ervin, AT; vlasnik Termaks – Branshucbautajle gezelshaft MBH, AT (Avstriya). - № 98094974; zayavl. 17.02.97; opubl. 17.03.03. – K: Promislova vlasnist. – 2003. - № 3. – S. 3.37
- [5] O. H. Nevynsky, "Sposib vyhotovlennia konstruktsiino-ozdobliuvalnoho materialu ta kompozytsiia, yaka pryznachena dlia vykorystannia v sposobi", *Deklaratsiinyi patent Ukrainy na vynakhid 54130 A Ukraina, MPK7 SO4V28/26, EO4V1/74*; vlasnyk UDMTU im. admirala Makarova. №2002054146; zaiavleno 21.05.02; opubl. 17.02.03. – K: Promyslova vlasnist, 2003, no. 2,
- [6] O. H. Nevynsky, S. Yu. Kelina, "Sposib vyhotovlennia konstruktsiino-ozdobliuvalnoho materialu ta kompozytsiia ta kompozytsiia dlia yoho vyhotovlennia", *Patent 75451 Ukraina, MPK(2006) SO4V 28/26, EO4V 1/74*; vlasnyk UDMTU im. admirala Makarova. №2004032084; zaiavleno 22.03.04; opubl. 17.04.06. K: Promyslova vlasnist, 2006, no. 4,
- [7] O.H. Nevynsky, M.M. Hyvliud, Ya.I. Vakhula, "Udoskonalennia vermykulito-sylikatnoho materialu", *Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnikha". Tematychnyi vypusk "Khimiiia, tekhnolohiia rehovyn ta ih zastosuvannia"*. Lviv: Vyd-vo NU "Lvivska politekhnikha", no. 590, pp. 340-345, 2007.
- [8] R. Ya. Akhtiamov, "Vermikulit Ukrayny", *Stroitelnye materialy u konstruktsiy*. K.: Budivelnik., no. 2, pp. 14–15, 1991.
- [9] V. Eitel, Fizicheskaiia khimiia silikatov. [per. s angl. A. A. Leontevoi, I. A. Ostrovskoho y dr.; pod red. N. N. Kurtsevots y dr.]. M.: Iz-vo inostr. lit., 1962.
- [10] O.H. Nevynsky, Ya.I. Vakhula, "Vyvchennia fizyko-khimichnykh protsesiv, shcho vidbuvaiutsia u vermykulit-sylikatnykh sumishakh pry termoobrobtsi i formuvanni materialu. Chastyna I (renthenofazovyi analiz)", *Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury*, Odessa: Zovnishreklamservis, Vyp. 40, pp. 228-235, 2010.

**ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА  
КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**Невинский О.Г.**, к.т. н., доцент,  
*Черноморский национальный университет им. Петра Могилы*  
vip.chvir@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7168-0299

**Аннотация.** Одним из основных средств обеспечения пожарной безопасности в судостроении, гражданском и промышленном строительстве и других отраслях, является использование негорючих материалов и изделий. Таким требованиям отвечает вермикулито-силикатный композиционный негорючий материал (ВСМ), разработанный авторами. Для его изготовления применен метод горячего прессования из пресс-композиции на основе вспученного вермикулита и щелочно-силикатного вяжущего вещества.

С целью повышения физико-механических и эксплуатационных характеристик ВСМ до уровня современных технических требований был проведен комплекс исследований по оптимизации рецептурного состава и усовершенствованию технологического процесса его изготовления. При этом большое внимание отводилось изучению влияния различных факторов на природу взаимодействия ингредиентов пресс-композиции.

За основные оценочные показатели качества ВСМ были приняты: горючесть, прочность при статическом изгибе, сорбционная влажность, водопоглощение, которые определяли согласно действующим стандартам.

Основными этапами исследования были: определение оптимального соотношения основных рецептурных компонентов (вермикулит - вяжущее вещество - отвердитель); изучение влияния сырьевых добавок (гидрофобизаторов, модификаторов и армирующих веществ), а также усовершенствование технологических параметров прессования (степени уплотнения материала, времени выдержки в прессе, температуры прессования и т.д.).

Анализ экспериментальных данных свидетельствует, что оптимальными (с точки зрения достигнутой прочности и водостойкости продукта) являются пресс-композиции, которые содержат в своем составе  $30 \pm 2$  мас. % вяжущего вещества и до 10 % отвердителя. Для изготовления материала повышенной плотности ( $700 \text{ кг/м}^3$ ) следует применять фракции вермикулита 1...2 мм. Для более легкого материала ( $350 \text{ кг/м}^3$ ) – вермикулит фракции 3...5 мм. Применение армирующих компонентов (каолиновое, вермикулитовое и базальтовое волокно, каолиновая и базальтовая вата по отдельности или в смеси, в количестве 5...7 мас. %) нивелирует внутренние напряжения в материале, предотвращает появление микротрещин на его поверхности, существенно повышает его физико-механические свойства и гарантирует получение высококачественного продукта. Положительное влияние на характеристики ВСМ оказывает применение модификаторов жидкого натриевого стекла.

Оптимальным температурным режимом является прессование композиции в интервале температур 120...140 °С (при времени выдержки изделия в пресс-форме из расчёта 1...1,5 минуты на 1 мм толщины изделия).

Анализ полученных результатов, свидетельствует о положительных достижениях в повышении свойств плитного вермикулито-силикатного композиционного материала по сравнению с его аналогами. Работа на пути усовершенствования качества вяжущего вещества и, соответственно, свойств композитного материала в целом, является предметом дальнейших исследований.

**Ключевые слова:** физико-химические исследования, оптимизация состава, вермикулито-силикатный конструкционно-отделочный материал.



**OPTIMIZATION OF THE STRUCTURE AND TECHNOLOGY OF PRODUCTION OF A COMPOSITE MATERIAL FOR SHIPBUILDING PURPOSE**

**Nevynsky A. G.**, PhD, Assistant Professor,  
*Petro Mohyla Black Sea National University*  
 vip.chvir@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7168-0299

**Abstract.** One of the main means of providing a fire safety in shipbuilding, civil and industrial building and in other spheres is using of incombustible materials and products.

Vermiculate silicate composite incombustible material (VSM), made by the authors, completely meets such requirements. The method of hot pressing from press composition on the base of swollen vermiculate and alkali silicate binding material has been used.

The set of researches has been done for the purpose of increasing physico- mechanical and operational characteristics of VSM to the level of modern technical requirements and for improving technological process of its production.

Great attention was paid to the research of the influence of different factors on the nature of interaction of ingredients of press composition. The main evaluative factors are: combustibility, rigidity in statistical bend, sorption humidity, water absorption which have been determined according to current standards.

The main research stages were: determination of optimal interrelationship of the main components: vermiculate, binding substance, solidification, study of the influence of raw additions (hydrophobisator, modifiers and reinforced substances) and also improving of technological parameters of pressing ( the level of sealing of the material, the time of being under press, the temperature of pressing, etc.)

The analysis of the experimental data reveals that optimal parameters (from point of achieved hardness and water resistance of product) are press compositions which contain  $30 \pm 2$  m. % of binding substance and to 10% of solidification.

Fraction of vermiculate 1...2 mm should be used for production of the material of higher density ( $700 \text{ kg/m}^3$ ). For lighter material ( $350 \text{ kg/m}^3$ ) fractions of vermiculate 3...5 mm are more suitable.

Using of reinforced components (kaolinic, vermiculative and basaltic fibers, kaolinic and basaltic cotton separately or in a mixture, in number 5...7 mas %) levels the inner tension in the material and prevents the appearance of microcracks on the surface, and greatly increases its physico-chemical properties and guarantees the receiving of a product of high quality.

The using of modifier of fluid sodium glass has a positive influence on characteristics of VSM.

The optimal temperature regime is to press the composition with the temperature interval 120...140 °C (the holding time of the product in press form is 1...1,5 min for 1 mm of thickness of the product)

The analysis of the received results proves the positive achievements in increasing of characteristics of slab vermiculate silicate composite material in comparison with its analogs. The work of improving the quality of a binding material and thus the characteristics of a composite material in general is the matter of further investigations.

**Keywords:** physico-chemical investigation; optimization of composition; vermiculate silicate constructive finishing material.

Стаття надійшла 11.06.2019