

**Криштанович В.И., Мокрицкая О.В. Исследование теплопереноса в процессе сушки древесины как многофазной структуры**

Приведена математическая модель реологического поведения древесины как трехфазной среды, состоящей из твердой (древесного вещества), жидкой и паровоздушной фаз, с учетом анизотропии термомеханических характеристик. На основе разработанных математических моделей и прикладных программных средств исследована динамика изменения температуры, влагосодержания, концентрации жидкости, пара и паровоздушной смеси и вязкоупругого деформирования древесины в процессе сушки. Установлены закономерности влияния технологических факторов конвективного процесса сушки на процессы теплопереноса древесины различных фаз.

**Ключевые слова:** математическая модель, вязкоупругое деформирование, теплоперенос, многофазная система, древесина, сушка древесины.

**Kryshchapovich V.I., Mokrytska O.V. The Study of Heat and Mass Transfer in the Drying of Wood as Multiphase Structure**

A mathematical model of rheological behaviour of wood as a three-phase medium consisting of solid (woody matter), liquid and vapour phases taking into account the thermal anisotropy of mechanical properties, is presented. Based on the developed mathematical models and software applications dynamics of changes in temperature, moisture content, concentration of liquid, steam and vapour-air mixture and viscoelastic deformation of wood in the drying process. The regularities of technological factors of convective drying process for heat and mass transfer processes of wood of different phases are defined.

**Keywords:** mathematical model, viscoelastic deformation, heat and mass transfer, multiphase systems, wood timber.

**УДК 614.841** Доц. О.В. Лазаренко, канд. техн. наук; курсант Т.Я. Боднарчук; доц. В.Б. Лойк, канд. техн. наук; слухач С.В. Гарник – Львівський ДУ безпеки життєдіяльності

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДВИЩЕННЯ ВОГНЕЗАХИСТУ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ ВЕРМИКУЛІТО-СИЛІКАТНИМИ ПЛИТАМИ**

Запропоновано використання вермикуліто-силікатних плит для підвищення вогнезахисту металевих будівельних конструкцій. На основі проведеного експерименту виявлено, що вермикуліто-силікатні плити є негорючими. Оцінено вогнезахисний ефект вермикуліто-силікатних плит завдяки хімічним процесам, які відбуваються у вермикуліті. Проаналізовано вогнезахисний ефект з визначенням вогнестійкості внаслідок впливу стандартного температурного режиму пожежі. Експериментально визначено вогнестійкість плити за втратою теплоізоляційної здатності, а також процеси та фазові перетворення, які відбуваються у вермикуліто-силікатній плиті під час нагрівання.

**Ключові слова:** вермикуліто-силікатні плити, вогнестійкість, вогнезахисний ефект, фазові перетворення, металеві будівельні конструкції, група горючості.

**Вступ.** У будівництві існує тенденція у зведення будівель і споруд, які потребують застосування нових технологій для економії будівельних матеріалів (цегли, дерева, залізобетону), та зменшення навантаження на фундаменти і конструкції каркасів і впровадження технологій підвищення вогнестійкості будівельних конструкцій. Тому виникає потреба у створенні нових видів конструкційно-оздоблювальних виробів, здатних забезпечити стабільність експлуатаційних властивостей у широкому інтервалі температур, високу есте-

тичність та екологічну безпеку. Одним із способів підвищення вогнестійкості є захист вогнестійкими вермикуліто-силікатними плитами.

До найпоширеніших матеріалів, що використовують у будівництві, належить метал, що має високу міцність, стійкість до механічних напружень, технологічність, але і має певні недоліки, а особливо, високу теплопровідність. Це призводить до того, що в умовах пожежі швидко прогрівається до температури, що перевищує 400-500 °С, внаслідок навантаження в металевих конструкціях розвиваються температурні деформації [1, 2]. Межа вогнестійкості незахищених металевих конструкцій становить REI 10-15.

**Постановка проблеми.** Для підвищення вогнестійкості металевих несних конструкцій використовують вогнезахисні екрани. Основною вимогою до цих екранів є здатність витримувати високі температури та забезпечити непродихність теплової дії негативних факторів на поверхню матеріалу, який захищається для підвищення межі вогнестійкості.

Одним із ефективних способів підвищення вогнестійкості металевих конструкцій є нанесення вогнезахисних покриттів та облицювань, які поділяють на пасивні та реактивні вогнезахисні покриття [3]. На сьогодні є дуже широкий асортимент вогнезахисних покриттів, що впливає на вибір оптимального вогнезахисного покриття.

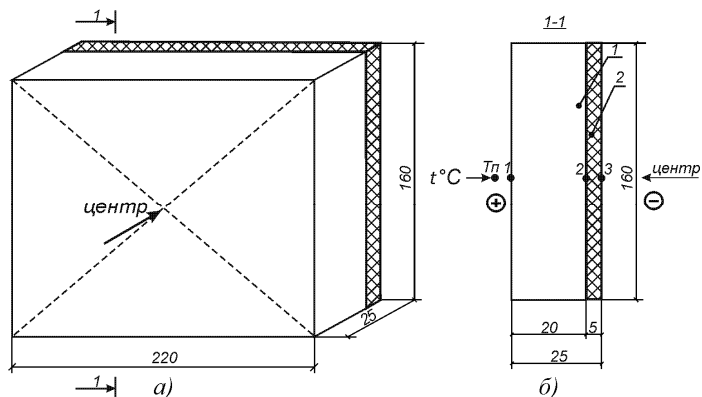
**Мета роботи** – проведення експериментальних досліджень із визначення групи горючості та вогнезахисного ефекту ВСП для металевих будівельних конструкцій, як обґрунтування підвищення їх вогнестійкості.

**Методики проведення досліджень.** Згідно з [4], суть методу випробувань експериментального визначення негорючих твердих речовин і матеріалів полягає у впливі на зразок, розташований у печі, із заданими параметрами (температура становить 750<sup>±50</sup>°С).

Для проведення випробування підготовлено два фрагменти вермикуліто-силікатної плити таких розмірів: висота 50 мм, діаметр 45 мм. Під час проведення експериментальних досліджень реєстрували температуру в печі, у центрі і на поверхні зразка до досягнення температурного балансу трьох термопар, фіксували його тривалість та втрату маси зразка.

Згідно з [5], випробування полягає у нагріві за стандартним температурним режимом дослідних фрагментів, до настання нормованих станів для цієї конструкції з вогнестійкості. Для проведення випробування виготовлено два фрагменти дослідного зразка конструкції. Зразок, який потрібно захистити – листову сталь Ст-5 товщиною 5 мм, як вогнезахисний шар використано ВСП товщиною 20 мм зі загальними розмірами конструкції 220×160×24 мм (рис. 1).

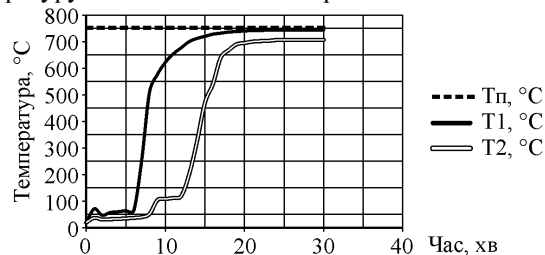
Перед проведенням випробування фрагменти кондиціонують у термошафі, яка вентилюється за температури 60<sup>±5</sup> °С протягом 24 год. Вогневе випробування фрагментів здійснено в електропечі СНОЛ-1,6.2,0.0,8/9-М1 УХЛ4,2 [6]. Для фіксування температури під час експериментальних досліджень підібрано комплект ТХА довжиною 1-1,5 м з ізоляцією із керамічного намиста. Термопари в печі та термопари у дослідному зразку під'єднали до регулятора-вимірювача РТ 0102-8-К [6], які під'єднали до персонального комп'ютера.



**Рис. 1. Загальні розміри дослідного зразка та схема розташування термопар:**  
 а) габаритні розміри; б) розріз: 1 – вермикуліто-силікатна плита;  
 2 – листовая сталь Ст-5;  $T_n$  – термопара в печі; 1 – на обігрівальній поверхні;  
 2 – між шарами конструкції; 3 – на не обігрівальній поверхні

Згідно з ДСТУ Б В.2.7-19-95 "Матеріали будівельні. Методи випробувань на горючість", визначено групу горючості речовин і матеріалів. Суть методу випробувань експериментального визначення негорючих твердих речовин та матеріалів полягає у впливі на зразок, розташований у печі, із заданими параметрами (температура становить  $750^{\pm 5} \text{ }^\circ\text{C}$ ). Під час експериментальних досліджень реєстрували температуру в печі, у центрі, у центрі і на поверхні зразка до досягнення температурного балансу трьох термопар, фіксували його тривалість та втрату маси зразка. За результатами випробувань проведено класифікацію матеріалів.

**Експериментальні дослідження.** Для проведення випробування підготовлено два фрагменти вермикуліто-силікатної плити таких розмірів: висота 50 мм, діаметр 45 мм. Випробування тривало протягом 30 хв. Результати показників термопар зображено на рис. 2. Під час вогневого випробування фрагментів № 1 та 2 встановлено, що температура ззовні цього фрагмента не перевищувала температуру печі і не виникало горіння.



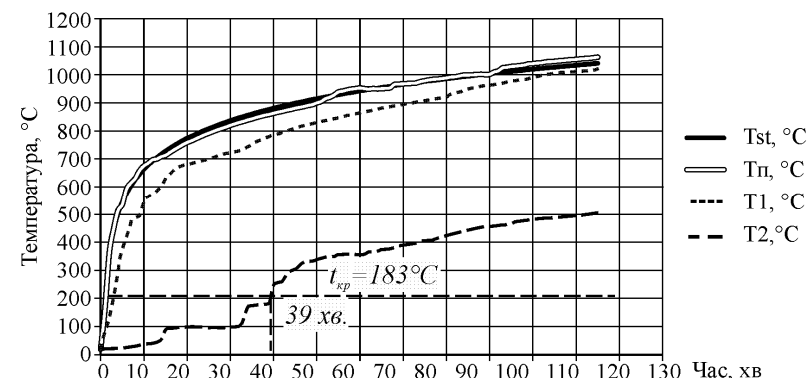
**Рис. 2. Зміна температури фрагмента № 1 вермикуліто-силікатної плити:**  
 $T_n$  – температура у печі;  $T_1$  – показник термопарі зовні плити;  
 $T_2$  – показник термопарі всередині плити

Після проведення випробувань виконано демонтаж дослідних фрагментів для оцінювання стану (рис. 3).

Під час вогневого випробування для визначення вогнезахисної ефективності ВСП фрагмента № 1 встановлено, що втрата вогнестійкості за ознакою теплоізоляційної здатності настала на 39-й хв, зовнішня необігрівальна поверхня плити прогрілася стрибкоподібно на  $183 \text{ }^\circ\text{C}$ , тобто температура на зовнішній перевищила критичну температуру  $180 \text{ }^\circ\text{C}$  (рис. 4). Під час випробувань було максимальне відхилення від стандартного температурного режиму пожежі до 2,5 %, що є допустимо.

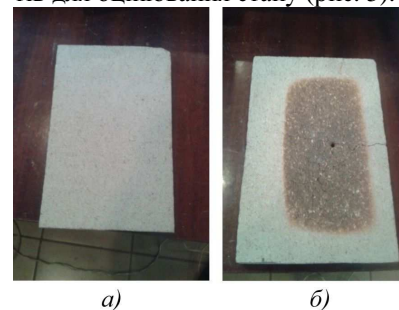


**Рис. 3. Випробування вермикуліто-силікатної плити:**  
 а) фрагмент № 1 до випробування;  
 б) фрагмент № 1 після випробування



**Рис. 4. Зміна температури фрагмента вермикуліто-силікатної плити № 1 вермикуліто-силікатної плити:**  $T_{st}$  – стандартна температурна крива;  
 $T_n$  – температура в печі;  $T_{1,2}$  – показники термопар

Після проведення випробувань здійснено демонтаж дослідних фрагментів для оцінювання стану (рис. 5).



**Рис. 5. Випробування вермикуліто-силікатної плити:**  
 а) фрагмент до випробування;  
 б) фрагмент № 1 після випробування

**Висновки:**

1. Встановлено, що вермикуліто-силікатна плита є негорючою;
2. Вогнестійкість плити за втратою теплоізоляційної здатності становить 38 хв;

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОУТИЛІЗАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК КОМУНАЛЬНОЇ  
ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ**

Проаналізовано сучасні теплоутилізаційні технології для газоспоживальних котельних установок комунальної теплоенергетики і виявлено шляхи підвищення їхньої ефективності. Запропоновано вдосконалену технологію утилізації теплоти відхідних газів із використанням комбінованої теплоутилізаційної системи, призначеної для нагрівання зворотної тепломережної води і холодної води системи хімічного водоочищення. Досліджено теплову ефективність цієї системи і визначено рівні підвищення коефіцієнта використання теплоти палива КВП котельної установки протягом опалувального періоду.

**Ключові слова:** опалувальні котельні установки, теплоутилізація, глибоке охолодження відхідних газів, тепла ефективність.

**Вступ.** Одним із шляхів підвищення ефективності використання палива в комунальній теплоенергетиці є утилізація втрат теплоти котельних установок з відхідними газами. Утилізація цих теплових викидів шляхом глибокого охолодження димових газів (нижче від температури точки роси водяної пари, що міститься в газах), і використанням теплоти конденсації цієї пари стримується низкою проблем, пов'язаних: з недостатньою ефективністю теплоутилізаційних систем, зі складністю розміщення функціональних елементів і з'єднувальних комунікацій таких систем у стиснутих умовах сучасних котельень, з потребою захисту газівідвідних трактів від корозійного руйнування, спричиненого утворенням під час глибокого охолодження газів кислим конденсатом з водневим показником  $\text{pH} = 5-6$  тощо.

Найпоширенішим напрямом теплоутилізації відхідних газів водогрійних опалувальних котлів є підігрівання в теплоутилізаційному устаткуванні зворотної води системи тепlopостачання перед надходженням її до котла [1-4]. У цьому разі утилізована теплота використовується безпосередньо в котлі. У разі такого традиційного використання утилізованої теплоти глибоке охолодження димових газів реалізується здебільшого тільки в осінньо-весняний період за відносно незначних навантажень котлоагрегата. За цих умов приріст ККД котла становить зазвичай 3-6 %. З метою підвищення ефективності використання палива шляхом реалізації глибокого охолодження відхідних газів упродовж усього опалувального періоду потрібно використовувати утилізовану теплоту також для нагрівання теплоносіїв більш холодних, ніж зворотна вода теплової мережі. Такими теплоносіями можуть слугувати холодна вода системи хімічне водоочищення (ХВО), вода технологічних потреб, дуттьове повітря тощо. У цьому разі в теплоутилізаційній установці буде здійснюватись комбіноване використання утилізованої теплоти, а саме: для нагрівання зворотної тепломережної води і більш холодного теплоносія.

**Мета роботи** – проаналізувати ефективність теплоутилізаційних систем газоспоживальних опалувальних котлів з комбінованим використанням утилізованої теплоти для нагрівання води теплової мережі та системи хімічне водоочищення.

3. З'ясовано, що зі збільшенням температури у печі процес зростання температури на не обігрівальній поверхні плавно зростає протягом 8-10 хв до температури 90-105 °С, потім залишається сталим до 10-15 хв. Під час цього періоду видно, як випаровується хімічно-зв'язана вода з вермикулітового концентрату, після чого стрибкоподібно зростає. Таким чином, можна стверджувати, що в період сталої температури – це вогнезахисний час, під час якого відбувається фазові перетворювання, у вермикуліто-силікатній плиті вигорає в'яжуче, наповнювач та випаровується вода. Вермикуліт не зазнає руйнувань, оскільки температура плавлення вермикуліту становить 1350 °С.

**Література**

1. Ройтман М.Я. Пожарная профилактика в строительном деле / М.Я. Ройтман. – Изд. 2-ое, [перераб. и доп.]. – М.: Изд-во министерства коммунального хозяйства РСФСР, 1961. – 368 с.
2. Ройтман В.М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий / В.М. Ройтман // Ассоциация "Пожарная безопасность и наука", 2001. – 382 с.
3. ДСТУ Б В.1.1-17:2007 "Вогнезахисні покриття для будівельних несучих металевих конструкцій. Методи визначення вогнезахисної здатності" (ENV 13381 4:2002, NEQ).
4. ДСТУ Б В.1.1-4-98\* "Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні положення".
5. Муфельна електропіч ЧОЛ-1,6,2,0,0,8/9-М1 УХЛ4,2. Настанова з експлуатації.
6. Перетворювач вимірювальний інтелектуальний РТ 0102-8-К. Настанова з експлуатації.

**Лазаренко О.В., Боднарук Т.Я., Лоик В.Б., Гарнык С.В. Экспериментальное исследование повышения огнезащиты металлических конструкций вермикулито-силикатными плитами**

Предложено использование вермикулито-силикатных плит для повышения огнезащиты металлических строительных конструкций. На основе проведенного эксперимента выявлено, что вермикулито-силикатные плиты являются негорючими. Проведена оценка огнезащитного эффекта вермикулито-силикатных плит за счет химических процессов, происходящих в вермикулите. Проанализирован огнезащитный эффект с определением огнестойкости вследствие воздействия стандартного температурного режима пожара. Экспериментально определена огнестойкость плиты с потерей теплоизоляционной способности, а также процессы и фазовые превращения, которые проходят в вермикулито-силикатной плите при нагревании.

**Ключевые слова:** вермикулито-силикатные плиты, огнестойкость, огнезащитный эффект, фазовые превращения, металлические строительные конструкции, группа горючести.

**Lazarenko O.V., Bodnaruk T. Ya., Loik V.B., Harnyk S.V. Experimental Investigation of Increasing Fire Protection of Metal Structures Using Vermiculite-silicate Plates**

The use of vermiculite-silicate plates to improve fire protection metal constructions is offered. Based on the experiment, the vermiculite-silicate plates are revealed to be non-combustible. The evaluation of the effect of fireproof vermiculite-silicate plates by chemical processes that occur in vermiculite is made. Fireproof effect of the definition of fire due to the impact of the standard fire temperature conditions is analysed. Fire insulation slabs due to the loss of capacity and also processes and phase transformations taking place in vermiculite-silicate plate during heating are experimentally determined.

**Keywords:** vermiculite-silicate plates, fire resistance, fireproof effect, phase transformations, metal constructions, flammability group.