

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 691-021.4:[699.8:628.4]

А. В. РАДКЕВИЧ¹, В. І. АНІН^{2*}, В. В. РАДЧЕНКО³, А. А. ШУВАСЬ⁴

¹ Кафедра «Будівельне виробництво і геодезія», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 247 18 65, ел. пошта anatolij.radkevich@gmail.com, ORCID 0000-0003-4059-2357

^{2*} Кафедра «Промислове та цивільне будівництво», Запорізького національного університету, пр. Соборний, 226, Запоріжжя, Україна, 69006, тел. +38 (066) 900 78 28, ел. пошта iranaarutunan@gmail.com, ORCID 0000-0002-2936-2262

³ Кафедра промислового та цивільного будівництва, Запорізький національний університет, пр. Соборний, 226, Запоріжжя, Україна, 69006, тел. +38 (063) 549 24 91, ел. пошта valeravivaz@gmail.com, ORCID 0000-0002-6369-5036

⁴ Кафедра «Промислове та цивільне будівництво», Запорізький національний університет, пр. Соборний, 226, Запоріжжя, Україна, 69006, тел. +38 (096) 180 45 99, ел. пошта shywazp@gmail.com, ORCID 0000-0002-4919-485X

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТЕЙ УТЕПЛЮВАЧІВ З ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ В БУДІВНИЦТВІ

Мета. Дослідження та аналіз можливостей покращення якостей утеплювачів з вторинної сировини для вивчення перспектив їх застосування в будівельній промисловості як інноваційних матеріалів з кращими показниками, ніж традиційні. Матеріали виготовлені з вторинної сировини мають велике значення не тільки у формуванні ринку будівельних матеріалів, а і у економіці України. Переробна інфраструктура створює велику кількість робочих місць та відрахувань до бюджету у якості податків. Окрім цього, від покращення теплоефективності приміщень та споруд напряму залежить витрата енергоресурсів та вартість обслуговування енергетичних магістралей. Використання сучасних технологій будівельних матеріалів об'єднує у собі економічність, ефективність та довговічність конструкцій. **Методика.** У сучасних умовах ринку будівельної продукції виникає гостра потреба у постійній модернізації будівельних процесів, за рахунок ефективного використання сировини та новітніх методів обробки. З використанням сучасних інформаційних технологій та теоретико-методологічних шляхів вирішення питань, стає можливим розгляд варіантів покращення характеристик будівельних матеріалів, за рахунок об'єднання якісних характеристик та ліквідації негативних. Вважаємо, що широкий спектр прийняття раціональних рішень по використанню відходів будівельного виробництва, в якості вторинних ресурсів, недостатньо обґрунтовані і вимагають наукового доопрацювання з урахуванням сучасної науки і техніки в галузі будівництва. Вибір ефективного напрямку руху будівельних відходів є запорукою успішного економічного розвитку будівельної індустрії регіонів країни. **Результати.** У цій роботі приведені науково обґрунтовані методи модернізації вторинної сировини у складі утеплюючих матеріалів з високими теплотехнічними та економічними характеристиками, які здатні конкурувати на ринку з традиційними будівельними матеріалами. Проведено аналіз антипіренів. **Наукова новизна.** Сформовано теоретико-методологічні напрямки на базі досліджень використання вторинної сировини для виготовлення утеплювачів у будівництві. Проведена порівняльна характеристика. Зроблений висновок щодо конкурентоздатності представлених матеріалів на ринку будівельних матеріалів. **Практична значимість.** Аналіз застосування сучасних технологій переробки вторинної сировини на базі новітніх теоретичних та практичних підходів, з подальшою ліквідацією недоліків. Розгляд можливості додавання у склад матеріалів антипіренів. Використання матеріалів у якості утеплювачів приміщень та споруд. Розвиток переробної інфраструктури в Україні.

Ключові слова: будівельна галузь; теплоефективність; вторинна сировина; переробка сміття; ПЕТ; поліетилен; утеплення приміщень; утеплюючі матеріали; технологічні завдання

Вступ

З кожним роком, будівельна галузь все більше еволюціонує, розвивається і прогресує. Це обумовлено збільшенням попиту суспільства на практичність, мінімізацію використання ресур-

сів, енергоефективність та екологічність. Проаналізувавши тенденції ринку класичних утеплюючих будівельних матеріалів (шлаковати, пінополістироли та інші) можна прийти до висновку, що наразі спостерігається стагнація. На зміну старим матеріалам приходять новітні рі-

шення, які базуються на використанні вторинної сировини у поєднанні з інноваційними методами обробки. Доречі, варто зазначити що повна або часткова теплодернізація до зменшення споживання енергоресурсів до 59 % (Strother, & Turner, 1990; Абрамов, & Минаєнкова, 1999; Абрамова, & Бачурина, 2008; Engelsmann, Spalding, & Peters, 2010).

На сьогодні у світі дуже гостро стоїть питання переробки поліетилену та поліетилентерфталату (ПЕТ). Повна утилізація, яка несе в собі руйнування полімерних ланок, не є економічно вигідна після 1...5 циклів використання цих матеріалів, а в багатьох випадках повторне використання також неможливе через часткове руйнування ланок у процесі попереднього використання.

Наразі в Україні відсортовується лише 5,6 % потенційної вторинної сировини, 94,4 % потрапляють на звалища або спалюються. Майже половина з усієї площі звалищ України (1300 км²) зайнята відходами саме з цих матеріалів. Але також і до сьогодні, слабо розвинена інфраструктура переробки поліетилену та ПЕТ. Навпроти – розвинена інфраструктура виготовлення спінених теплоізолюючих матеріалів з імпоротної сировини (Алексеев, & Исправникова, 1966; Зарубина, 2012).

Мета

Після аналізу проблеми виникає потреба більш детально дослідити можливості та шляхи покращення властивостей спінених теплоізолюючих матеріалів з вторинної сировини для подальшого їх використання у якості заміни або доповнення традиційним та сформувати основні напрямки досліджень.

Методика

Головною проблемою використання утеплюючих матеріалів з вторинної сировини є їх висока горючість та велика кількість шкідливих речовин, які формуються або виділяються під час процесу горіння. Саме це є найбільшою перешкодою у збільшенні обсягів використання новітніх утеплюючих матеріалів з продуктів переробки пластику, ПЕТ та полімерів.

Проаналізувавши ситуацію, було виявлено що найбільш ефективним з боку використання світового запиту на економічність та екологіч-

ність буде утеплення будівель і споруд матеріалами з поєднаної вторинної сировини поліетилену та ПЕТ. Спінений поліетилен та волокна ПЕТ мають дуже високі теплотехнічні (0,038...0,045 Вт/мС) та економічні характеристики. Спінений поліетилен має більшу щільність і краще підходить для зовнішнього захисного шару, а волокна ПЕТ, які мають кращі теплотехнічні характеристики у якості ізоляційного матеріалу між стіною та захисним шаром (Абрамов, & Минаєнкова, 1999; Kumbhar, Gupta, & Desai, 2013). Таким чином вирішується дві великі проблеми України та світу.

Тож, оскільки використання цих матеріалів в умовах сьогодні є обґрунтованим, сформуємо план для покращення їх властивостей, а саме ліквідацію процесу горіння.

Засоби досягнення цілей:

- аналіз можливостей додавання до сировини антипіретиків;
- аналіз можливостей зміни моделі використання матеріалів;
- аналіз можливості ліквідації вивільнення шкідливих речовин з матеріалу у процесі горіння.

Для успішного впровадження тих чи інших змін, мають бути незмінні тепло-технічні та економічні показники. Ці показники є ключовими при виборі утеплюючих матеріалів на ринку. Тому на підставі вище розглянутого вважаємо, що широкий спектр прийняття раціональних рішень по використанню відходів будівельного виробництва, в якості вторинних ресурсів, недостатньо обґрунтовані і вимагають наукового доопрацювання з урахуванням досягнень сучасної науки і техніки. Вибір ефективного напрямку руху будівельних відходів є запорукою успішного економічного розвитку будівельної індустрії регіонів країни (Хувинк, & Ставерман, 1965; Engelsmann, Spalding, & Peters, 2010; Алексанин, 2014).

Результати

Горючість – це комплексна характеристика матеріалу або конструкції, яка визначає здатність матеріалу загорятися, підтримувати і поширювати процес горіння. Вона характеризується наступними величинами – температурою займання або самозаймання, швидкістю вигорання і поширення полум'я по поверхні, а та-

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

кож умов, при яких можливий процес горіння (склад атмосфери, кисневий індекс, температурний індекс).

Горючість обумовлена високим вмістом вуглецю і водню, з якого складаються макромолекули полімерів. При нагріванні макромолекули легко розпадаються на низькомолекулярні насичені і не насичені вуглеводні, які піддаються екзотермічних реакцій окислення.

Кисневий індекс, що показує процентний вміст кисню, необхідне для підтримки горіння речовини. Вміст кисню в атмосфері 21 %, а кисневий індекс полімерних матеріалів знаходиться у межах від 17 % до 60 % – тобто горіння цих матеріалів може відбуватися при додатковій подачі кисню – якщо кисневий індекс матеріалу вищий ніж атмосферний, або продовжуватися після спалаху за рахунок атмосферного кисню – якщо кисневий індекс матеріалу нижчий ніж атмосферний (Зарубина, 2012; Kumbhar, Gupta, & Desai, 2013; Puskás, Corbu, Szilágyi, & Moga, 2014; Радкевич, Арутюнян,

Данкевич, & Сайков, 2017; Ровкіна, & Ляпков, 2020).

Супутні процеси горіння:

- виділення диму при горінні і дії полум'я;
- токсичність продуктів горіння і піролізу – розкладання речовини під дією високих температур;

- вогнестійкість матеріалу або виробу – здатність зберігати фізико-механічні характеристики (міцність, жорсткість) і функціональні властивості при впливі полум'я.

Тому зниження горючості полімерних матеріалів є завданням по оптимізації комплексу характеристик створюваного матеріалу. Природа більшості полімерних матеріалів така, що їх неможливо зробити повністю пожежобезпечними. Горіння полімерів є дуже складний фізико-хімічний процес (рис. 1), що включає хімічні реакції при деструкції полімеру, а також хімічні реакції перетворення і окислення газових продуктів, с інтенсивним виділенням тепла і винесенням маси речовини.

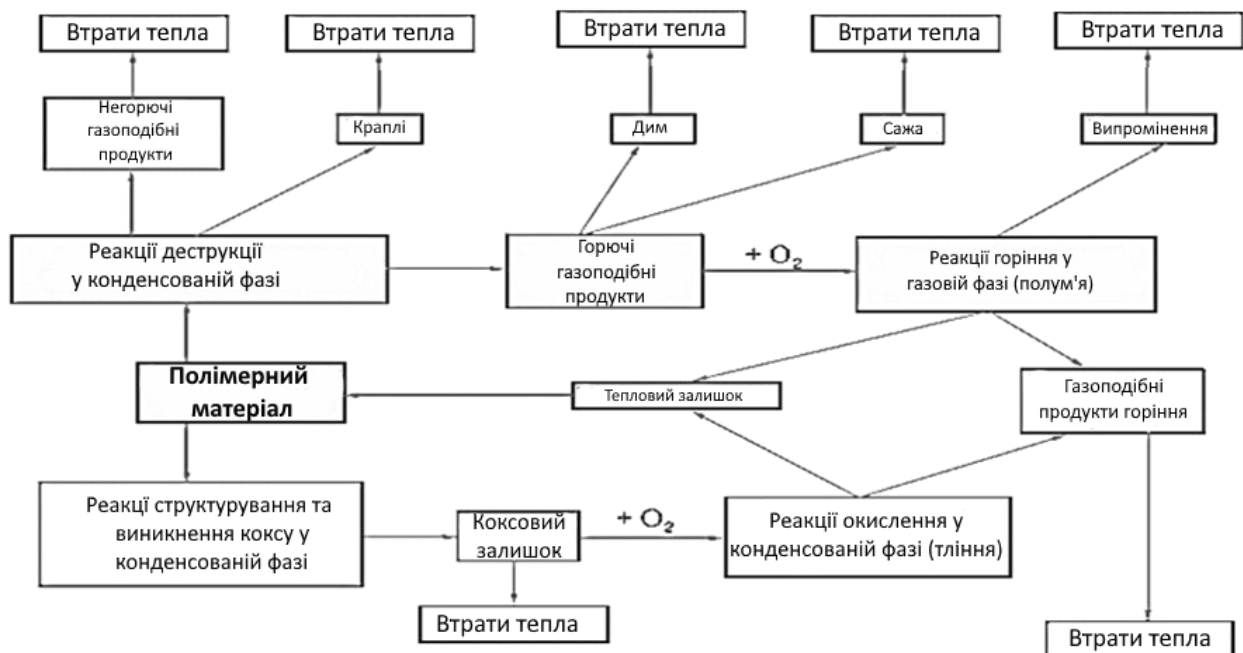


Рис. 1. Фізико-хімічний процес горіння полімерів

В результаті хімічних реакцій утворюється два види продукту горіння – гази горючі/негорючі і зола. Єдине, що можна зробити – це зменшити їх здатність до займання та підтримці горіння. Для цієї мети застосовуються

добавки, що підвищують захист від займання і знижують швидкість поширення полум'я – антипірени (Strother, & Turner, 1990; Engelsmann, Spalding, & Peters, 2010; Зарубина, 2012), які поділяються на три групи.

Добавки першого типу застосовуються, в основному, для реактопластів (епоксидних, ненасичених поліефірних і т.п. смол). Для поліефірних смол використовується, в основному, дібромнеопентілгліколь (DBNPG), а для епоксидних найкращою системою визнані органічні сполуки фосфору. Ці сполуки вбудовуються в хімічну сітку реактопластів і не погіршують фізико-механічних властивостей виробів.

Добавки другого типу зупиняють горіння полімеру на ранній стадії. На стадії його термічного розпаду, що супроводжується виділенням горючих газоподібних продуктів. Процес полягає в комбінації освіти коксу і спінювання поверхні палаючого полімеру. Утворений спінений пористий коксовий шар, щільність якого зменшується з ростом температури, оберігає палаючий матеріал від впливу теплового потоку або полум'я.

Добавки третього типу застосовуються для термопластів, реактопластів та еластомерів.

Наукова новизна та практична значимість

Після проведеного аналізу ми пропонуємо ліквідувати значні недоліки утеплюючих матеріалів з вторинної сировини саме додаванням у склад реактопластів: дібромнепетил та новітні хлоровмісткі антипірени другого порядку та використовувати спінений поліетилен разом з волокнами ПЕТ за призначенням. Спінений поліетилен має більшу щільність і краще підходить для зовнішнього захисного шару, а волокна ПЕТ, які мають кращі теплотехнічні характеристики у якості ізоляційного матеріалу між стіною та захисним шаром.

Таким чином вирішується дві великі проблеми України та світу в цілому: часткова утилізація сміття з поліетилену та ПЕТ і модернізація технології утеплення будівель та споруд.

Висновки

Сформовано теоретико-методологічні напрямки на базі аналізу модернізації сучасних матеріалів з вторинної сировини для покращення їх властивостей і можливості використання у будівлях та спорудах у якості утеплювачів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Engelsmann, S., Spalding, V., & Peters, S. (2010). *Plastics: In Architecture and Construction*. Walter de Gruyter GmbH.
- Kumbhar, S., Gupta, A., & Desai, D. (2013). Recycling and reuse of construction and demolition waste for sustainable development. *OIDA International Journal of Sustainable Development*, 6(7), 83-92.
- Puskás, A., Corbu, O., Szilágyi, H., & Moga, L. M. (2014). Construction waste disposal practices: The recycling and recovery of waste. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 191, 1313-1321.
- Strother, E. F., & Turner, W. C. (1990). *Thermal insulation building Guide*. Malabar, USA: Robert E. Krieger Publishing Company.
- Абрамов, Л. И., & Минаенкова, Э. А. (1999). *Организация и планирование строительного производства. Управление строительной организацией*. Москва: Стройиздат.
- Абрамова, М. В., & Бачурина, Н. Д. (2008). Сетевая модель управления потоками отходов. *Вестник Восточноукраинского университета им. В. Даля*, 3, 121.
- Александрин, А. В. (2014). Автоматизация управления отходами строительного производства. *Промышленное и гражданское строительство*, 10, 79-81.
- Алексеев, М. В., & Исправникова, А. Г. (1966). *Пожарная профилактика при производстве пластических масс и химических волокон*. Москва: Стройиздат.
- Зарубина, Л. П. (2012). *Теплоизоляция зданий и сооружений. Материалы и технологии*. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург.
- Радкевич, А. В., Арутюнян, І. А., Данкевич, Н. О., & Сайков, Д. В. (2017). Детермінація концептуальних підходів щодо облігаторності впровадження оптимізаційних моделей будівельного виробництва для вітчизняних підрядних підприємств. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 12, 78-86.
- Ровкина, Н. М. & Ляпков, А. А. (2020). *Химия и технология полимеров. Исходные реагенты для получения полимеров и испытание полимерных материалов*. Издательство «Лань».
- Хувинк, Р., & Ставерман, А. (1965). *Химия и технология полимеров* (т. 2, ч. 1). Москва-Ленинград: Химия.

A. V. RADKEVICH¹, V. I. ANIN^{2*}, V. V. RADCHENKO³, A. A. SHUVAEV⁴

¹ Department «Building production and geodesy» of Dnipro National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, Lazarian St. 2, Dnepr, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 247 18 65, e-mail anatolij.radkevich@gmail.com, ORCID 0000-0003-4059-2357

^{2*} Department of Industrial and Civil Engineering, Zaporizhzhia State Engineering Academy, 226 Sobornyi ave., Zaporizhzhia, Ukraine, 69006, tel. +38 (066) 900 78 28, e-mail iranaarutunan@gmail.com, ORCID 0000-0002-2936-2262

³ Department of Industrial and Civil Engineering, Zaporizhzhia National University, 226 Sobornyi ave., Zaporizhzhia, Ukraine, 69006, phone +38 (063) 549 24 91, e-mail valeravivaz@gmail.com, ORCID 0000-0002-6369-5036

⁴ Department of Industrial and Civil Engineering, Zaporizhzhia National University, 226 Sobornyi ave., Zaporizhzhia, Ukraine, 69006, phone +38 (096) 180 45 99, e-mail shywazp@gmail.com, ORCID 0000-0002-4919-485X

ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES OF IMPROVING THE QUALITY OF INSULATION FROM SECONDARY RAW MATERIALS AND THE PROSPECTS OF THEIR USE IN CONSTRUCTION

Purpose. Research and analysis of opportunities to improve the quality of insulation from secondary raw materials to study the prospects of their use in the construction industry as innovative materials with better performance than traditional ones. Materials made from secondary raw materials are of great importance not only in the formation of the building materials market, but also in the Ukrainian economy. The processing infrastructure creates a large number of jobs and tax deductions to the budget. In addition, the consumption of energy resources and the cost of servicing energy mains directly depend on the improvement of the thermal efficiency of premises and structures. The use of modern technologies of building materials combines economy, efficiency and durability of structures. **Methodology.** An important role in the development of modern construction production is played by the possibility of developing and improving the quality of building materials and technologies for their use. In modern conditions of the market of construction products there is an urgent need for constant modernization of construction processes, due to the efficient use of raw materials and the latest processing methods. With the use of modern information technologies and theoretical and methodological ways to solve problems, it becomes possible to consider options for improving the characteristics of building materials by combining qualitative characteristics and eliminating negative ones. **Findings.** This paper presents scientifically sound methods of modernization of secondary raw materials in the composition of insulation materials with high thermal and economic characteristics, which are able to compete in the market with traditional building materials. The analysis of flame retardants was carried out. **Originality.** Theoretical and methodological directions have been formed on the basis of research on the use of secondary raw materials for the manufacture of insulation in construction. The comparative characteristic is carried out. The conclusion on the competitiveness of the presented materials in the market of construction materials is made. **Practical value.** Analysis of the application of modern technologies for recycling on the basis of the latest theoretical and practical approaches, with the subsequent elimination of shortcomings. Consideration of the possibility of adding flame retardants to the composition of materials. Use of materials as insulation of premises and buildings. Development of processing infrastructure of Ukraine.

Keywords: construction industry; thermal efficiency; secondary raw materials; garbage recycling; PET; polyethylene; insulation of premises; insulation materials; technological tasks

REFERENCES

- Engelsmann, S., Spalding, V., & Peters, S. (2010). *Plastics: In Architecture and Construction*. Walter de Gruyter GmbH. (in English)
- Kumbhar, S., Gupta, A., & Desai, D. (2013). Recycling and reuse of construction and demolition waste for sustainable development. *OIDA International Journal of Sustainable Development*, 6(7), 83-92. (in English)
- Puskás, A., Corbu, O., Szilágyi, H., & Moga, L. M. (2014). Construction waste disposal practices: The recycling and recovery of waste. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 191, 1313-1321. (in English)
- Strother, E. F., & Turner, W. C. (1990). *Thermal insulation building Guide*. Malabar, USA: Robert E. Krieger Publishing Company. (in English)
- Abramov, L. I., & Minaenkova, E. A. (1999). *Organizatsiya i planirovanie stroitel'nogo proizvodstva. Upravlenie stroitel'noy organizatsiey*. Moskva: Stroyizdat. (in Russian)

- Abramova, M. V., & Bachurina, N. D. (2008). Setevaya model upravleniya potokami otkhodov. *Vestnik Vostochnoukrainskogo universiteta im. V. Dalya*, 3, 121. (in Russian)
- Aleksanin, A. V. (2014). Avtomatizatsiya upravleniya otkhodami stroitel'nogo proizvodstva. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 10, 79-81. (in Russian)
- Alekseev, M. V., & Ispravnikova, A. G. (1966). *Pozharnaya profilaktika pri proizvodstve plasticheskikh mass i khimicheskikh volokon*. Moskva: Stroyizdat. (in Russian)
- Zarubina, L. P. (2012). *Teploizolyatsiya zdaniy i sooruzheniy. Materialy i tekhnologii*. Sankt-Peterburg: BKhV-Peterburg. (in Russian)
- Radkevych, A. V., Arutiunian, I. A., Dankevych, N. O., & Saikov, D. V. (2017). Determinatsiia kontseptualnykh pidkhodiv shchodo oblihatornosti vprovadzhennia optymizatsiinykh modelei budivelnoho vyrobnytstva dlia vitchyznianskykh pidriadnykh pidpriemstv. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka*, 12, 78-86. (in Ukrainian)
- Rovkina, N. M. & Lyapkov, A. A. (2020). *Khimiya i tekhnologiya polimerov. Iskhodnye reagenty dlya polucheniya polimerov i ispytanie polimernykh materialov*. Izdatel'stvo «Lan». (in Russian)
- Khuvink, R., & Staverman, A. (1965). *Khimiya i tekhnologiya polimerov* (t. 2, ch. 1). Moskva-Leningrad: Khimiya. (in Russian)

Надійшла до редколегії 17.03.2021.

Прийнята до друку 30.03.2021.