

УДК 69:004

**ВИКОРИСТАННЯ БЕТОННИХ СУМІШЕЙ НА ОСНОВІ ПРОДУКТІВ  
РЕЦИКЛІНГУ БУДІВЕЛЬНИХ ВІДХОДІВ  
ДЛЯ ЗВЕДЕННЯ БУДІВЕЛЬ МЕТОДОМ 3D-ДРУКУ**

Гусєв В. О.<sup>1</sup>, аспірант, Смирнов А. С.<sup>2</sup>, аспірант, Нікіфорова Т. Д.<sup>3</sup>, д. т. н., проф.

*Придніпровська державна академія будівництва та архітектури,*

<sup>1</sup> *husievvitalii@gmail.com;*

<sup>2</sup> *smyrnov.anton@pgasa.dp.ua;*

<sup>3</sup> *nikiforova.tetiana@pgasa.dp.ua*

**Постановка проблеми.** Сучасне будівництво – найбільш енергоємна галузь матеріального виробництва. Будівельна галузь загалом споживає понад третину світових природних ресурсів. Щорічно в сучасному світі кількість будівельних відходів збільшується на 2,5 млрд т. Водночас, зараз в Україні гостро стоїть питання, що робити зі зруйнованими за час війни будівлями та спорудами, адже українські сміттєві полігони не розраховані на таку кількість відходів. У зв'язку з цим, важливу роль у післявоєнному відновленні інфраструктурних та інших об'єктів, швидкому зведенні тимчасових будівель і споруд для забезпечення житлом внутрішньо переміщених українців будуть відігравати адитивні технології в поєднанні з технологіями повторного використання будівельних відходів.

**Мета дослідження.** Удосконалення алгоритму керуючої команди для розробки вітчизняної системи 3D-друку конструкцій будівельних об'єктів із застосуванням сумішей на основі продуктів рециклінгу будівельних відходів.

**Основний текст.** Бетон – найпоширеніший будівельний матеріал сьогодення. Для його виготовлення використовуються викопні природні ресурси, зокрема, щебінь та пісок. Їх видобуток суттєво впливає на довкілля: руйнування середовища проживання багатьох видів фауни, вирубка лісів, ерозія верхніх шарів ґрунтів тощо. Постійне зростання об'ємів будівництва та вичерпування природних родовищ, а в найбільшій мірі – це забруднення відходами оточуючого середовища, ставить перед людством задачі з утилізації і рециклінгу відходів. Для зменшення цього негативного впливу ще з 70-х рр. ХХ століття дослідниками вивчається можливість повного або часткового заміщення природних заповнювачів на штучні, тобто перероблені з будівельних відходів.

Технологія 3D-друку зараз набуває великого розповсюдження в різних сферах промисловості, в тому числі і у будівництві. Таку технологію намагаються розвинути та впровадити на практиці як українські, так і закордонні вчені: Андрощук Г. О., Даттон Р., Ванглер Т., Вегер Д., Гелен К., Дилленбургер Б., Дини Э., Кисіль О.В., Лоук Д., Мюллер Ф., Перро А., Хаберт Г., Хак Н., Хошневис Б., Хуан І., Шатов С. В. Здебільшого, їх дослідження базуються на загальному вивченні цього процесу, проте, актуальним залишається питання одночасного поєднання технології 3D-друку з новітніми розробками методів і технологій переробки будівельних промислових відходів безпосередньо на будівельному майданчику. У 2017 р. КМУ схвалено Національну стратегію управління відходами в Україні до 2030 р. У сфері будівельно-ремонтних відходів пропонується прийняття нормативно-правових актів для стимулювання перероблення відходів, створення ефективної інфраструктури поводження з будівельними відходами шляхом забезпечення функціонування стаціонарних та мобільних потужностей для переробки відходів, включення планів управління відходами до проектно-кошторисної документації.

За результатами аналізу державних закупівель на утилізацію відходів встановлено, що в період 2017–2021 рр. лише двома департаментами з Дніпра вивезено близько 120 тис. т. будівельних відходів на загальну суму 8,5 млн грн. При цьому, угодами між замовниками та надавачами послуг не передбачені роботи з сортування та переробки відходів, а лише вивезення та захоронення на полігонах.

Для зменшення витрат природних будівельних матеріалів при застосуванні технології 3D-друку доцільно використовувати вторинні кам'яні матеріали (уламки бетонних конструкцій та цегли, шлаку, буту тощо) у поєднанні з розчином або бетоном. Існуючі на сьогодні результати досліджень фізико-механічних та експлуатаційних характеристик бетонів на основі вторинних заповнювачів свідчать про відсутність суттєвих відмінностей у порівнянні з бетонами на природних заповнювачах [1; 2]. Тобто використання перероблених заповнювачів дозволить суттєво зменшити обсяги захоронення відходів будівництва та збільшити об'єми їх повторного використання.

Більшість заповнювачів для виробництва бетонів, в тому числі щебінь різної фракції, виробляється в стаціонарних умовах. Постачання щебню на бетонні заводи здійснюється за окремими фракціями з подальшим дозуванням та змішуванням [3]. Тобто, для традиційного циклу виробництва повинні бути задіяні значні транспортні витрати.

Переважає більшість будівельних організацій в Україні використовують традиційні технології зведення будівель і споруд. Повільне впровадження адитивних технологій у будівництво пов'язане, по-перше, з досить складним процесом управління і принципом роботи технологій 3D-друку [4], тобто необхідністю використання числового програмного керування, як, наприклад, мова програмування G-code, що застосовується в подібних пристроях. По-друге, головною перешкодою для впровадження такої технології у масове будівництво є висока початкова вартість обладнання та самих будівельних сумішей для 3D-принтерів. Крім того, проблемою є відсутність висококваліфікованих міжгалузевих спеціалістів, які здатні поєднати ці технології на практиці.

**Висновок.** Проблема утилізації будівельних відходів в Україні на даний час набула критичних масштабів, вирішенню якої необхідно надавати державної ваги.

Застосування технологій 3D-друку в будівництві у поєднанні з технологіями повторного використання будівельних відходів відкриває нові можливості подолання цієї проблеми. При цьому розробка компактного та мобільного комплексу, що поєднає в собі робочі операції, такі як подрібнення, сортування, приготування будівельної суміші та, безпосередньо, друк, дозволить створити економічні передумови для застосування цих технологій в сучасному будівництві.

Необхідні подальші наукові дослідження, скеровані на розробку будівельних сумішей з використанням перероблених будівельних відходів для зведення будівель методом 3D-друку та розробка відповідних розділів до існуючої нормативної бази, що дозволить застосовувати вказані технології на державному рівні.

### Список використаних джерел

1. Richardson A. E., Coventry K., Graham S. Concrete manufacture with un-graded recycled aggregates. *Structural Survey*. Bingley, UK, 2009. № 27. Pp. 62–70.
2. Huynh Trong Phuoc, Nguyen Tien Dung, Ngo Si Huy, Vo Duy Hai. An Experimental Study on Properties of High-Performance Concrete Using Recycled Aggregates. *Journal of Science and Technology*. Danang City, 2017. № 12 (121). Pp. 19–23.
3. Hannele Kuosa. Reuse of recycled aggregates and other C&D wastes. Research Report VTT-R-05984-12.