

УДК 69.001.5

ДОСВІД СТВОРЕННЯ АРХІТЕКТУРНО-КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ БУДІВНИЦТВА МЕТОДОМ 3D-ДРУКУ

Савицький М. В.,¹ докт. техн. наук, проф.; Шатов С. В.,¹ докт. техн. наук, проф.;

Конопляник О. Ю.,¹ канд. техн. наук, доц.;

Савицький О. М.,¹ канд. техн. наук, Ібрагім Зайдан Халаф,¹ аспір.

Державний вищий навчальний заклад

«Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

Постановка проблеми. Останнім часом в світі стрімко розвивається технологія 3D друк – процес читання цифрової віртуальної 3D моделі з наступною побудовою фізичного об'єкта [1; 2]. Такий метод виготовлення має високу точність, якість, малий час виробництва, а отже, є надзвичайно ефективним. Для застосування технології 3D-друку в будівництві необхідна розробка або удосконалення методів цифрового моделювання фізичних об'єктів, механічного обладнання для виконання 3D-друку, розробки складів сумішей і технологічних параметрів будівельних розчинів, розробки методів контролю фізико-механічних властивостей матеріалів, розробка архітектурних рішень, конструкцій будівель і споруд, що виготовляються методом 3D-друку, розробка нормативної бази для впровадження технології 3D-друку в практику будівництва. В Україні був відсутній досвід виготовлення і спорудження будівельних об'єктів за допомогою технології 3D-друку. Враховуючи переваги вищезазваного методу, а також відсутність результатів комплексних досліджень технології 3D-друку будівельних об'єктів, актуальність роботи не викликає сумнівів.

Мета роботи. Робота спрямована на розробку науково-методичних, архітектурно-типологічних, конструктивних, техніко-технологічних, нормативно-технічних засад для трансферу інноваційної технології 3D-друку об'єктів в вітчизняну практику будівництва..

Виклад матеріалу. Результати. Для мінімізації витрат енергії та матеріалів життєвого циклу будівель і споруд необхідна розробка їх нових архітектурних форм, конструкцій типових будівельних елементів, включаючи армування, матеріалів і виробів, розробка складів будівельних сумішей з заданими властивостями, типових схем виробничих процесів, будівельного виробництва, інтегрованих в технологію 3D-друку, розробка технологічного обладнання і машин для виконання робіт, запропонувати методи контролю якості будівельних сумішей, матеріалів і конструкцій, створених шляхом застосування технології 3D-принту.

В процесі виконання роботи здійснене наступне [3]:

1. Виконано аналіз сучасних об'єктів архітектури, конструктивних рішень будівель і споруд, виробів і матеріалів, складів будівельних розчинів, технологічного обладнання, методів і програмних продуктів для цифрового моделювання будівельних об'єктів стосовно методу будівельного 3D-друку.

2. Розроблено архітектурну типологію будівель і споруд стосовно технології 3D-друку.

3. Розроблено конструкції тонкостінних елементів типових деталей будівель і споруд.

4. Розроблено склади матеріалів з заданими технологічними і будівельно-технічними властивостями.

5. Запропоновано або удосконалено технологічне обладнання, машини і механізми, схеми технологічних процесів для будівництва методом 3D-друку.

6. Удосконалено програмні продукти для цифрового моделювання, елементну базу для управління технологічними процесами 3D-принту.

7. Створено методи контролю якості матеріалів, технологічних процесів, конструкцій, об'єктів будівництва на всіх стадіях життєвого циклу. Розроблено пропозиції до нормативно-технічної бази для трансферу технології 3D-друку в практику будівництва.

8. Проведені експериментальні дослідження натурних конструкцій, виготовлених методом 3D -друку.

9. Досліджено техніко-економічні і екологічні характеристики об'єктів будівництва з використанням технології 3D-друку.

Вдосконалення головок 3D-друку будівельних об'єктів направлено на підвищення продуктивності при укладанні бетону за рахунок можливості регулювання ширини його шару.

Метою наступного етапу роботи було визначення реакційної здатності в'язучих компонентів, що входять до складу сумішей, та визначення їх оптимальної кількості в суміші. Крім того, завдання полягало у порівнянні термінів початку та кінця тужавлення розчинів з різними в'язучими компонентами та прискорювачами.

У ході досліджень було виготовлено та випробувано 24 суміші. Застосовували чотири різні типи в'язучих: а) глиноземний цемент; високоглиноземний цемент; в) портландцемент; г) рідке скло; д) порошкове вапно.

Отверджувачами рідкого скла були: а) силікофторид натрію; б) ферохромний шлак; в) портландцемент М400; г) глиноземний цемент.

В якості прискорювачів для затвердіння сумішей використані: а) будівельний гіпс; б) хлорид кальцію CaCl_2 ; в) борну кислоту; г) соду Na_2CO_3 .

В результаті досліджень розроблено склади бетонів з широким діапазоном варіювання термінів схвачування – від 5 до 380 хв. (початковий), до, відповідно, 15 і 590 хв. [4]. Результати досліджень були використані в умовах виробництва (рис. 1).

Були запропоновані конструктивні рішення несучих стін для 3D-друку. На прикладі несучих стін представлені основні варіанти поперечних перерізів, які застосовуються для більшості конструкцій, виготовлених методом 3D-друку. Вони можуть відрізнятися шириною перерізу, товщиною бетонного шару, кількістю внутрішніх перегородок, теплоізоляційним матеріалом, наявністю звукоізоляційних матеріалів, наявністю гнучких зв'язків та повітряних включень, заповнених ізоляційними матеріалами або бетоном. Обов'язковою умовою при визначенні товщини та структури стінової конструкції є її відповідність вимогам до несучої здатності та стійкості, а також умов тепло- і звукоізоляції.

Для армування стінових конструкцій використовується як традиційна сталевая, так і композитна арматура, з якої шляхом встановлення вертикальних та горизонтальних стержнів формується просторовий арматурний каркас. Окрім цього, в конструкціях за технологією 3D-друку широко використовується армування різними типами фіброволокна.

Виконано дослідження напружено-деформованого стану тонкостінних несучих конструкцій за технологією 3D-друку. До аналізу був прийнятий фрагмент зовнішньої несучої стіни розміром 300×1200 мм в плані, висотою 1 поверх (3 м). На основі аналізу отриманих даних щодо напружень та деформацій, зроблено висновок, що фрагмент стінової конструкції задовольняє вимогам до міцності та стійкості.

В лабораторії кафедри залізобетонних та кам'яних конструкцій Придніпровської державної академії будівництва та архітектури є сучасний лабораторний змішувач

німецької фірми «АЙРІХ», ємністю 50 л, що надає змогу підбирати склади бетонних сумішей для 3D-принту будівельних виробів (рис. 2).

Результати досліджень використані при створенні першої в Україні виробничої бази в с. Братське, Дніпровського району, Дніпропетровської області, на якій налагоджений випуск бетонних виробів за допомогою 3D-друку різноманітної номенклатури (рис. 3).



Рис. 1. Виробництво елементів методом 3D-друку



Рис. 2. Лабораторний змішувач фірми «Айріх»

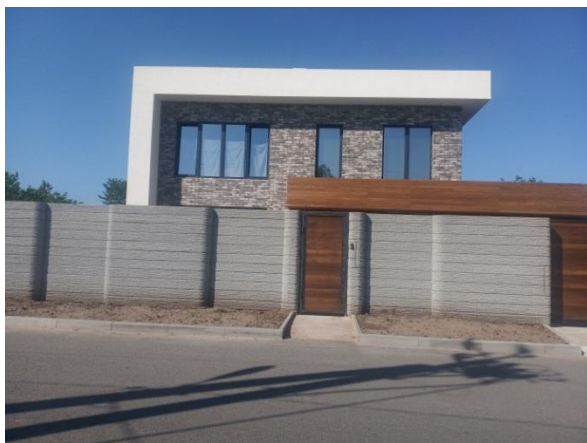


Рис. 3. Будівельна продукція створена за технологією 3D-друку

Висновки. В результаті проведених робіт створено наукові засади для впровадження технології 3D-друку будівельних об'єктів в практику будівництва.

Список використаних джерел

1. Технологии 3D-печати в строительстве [Электронный ресурс]. URL: <http://www.shapovalov.org/news/2014-05-28-2769>
2. Buswell R. A., Leal de Silva, W. R., Jones S. Z., Dirrenberger J. (October 2018). 3D-printing using concrete extrusion : a roadmap for research. *Cement and Concrete Research*. Vol. 112. Pp. 37–49. doi:10.1016/j.cemconres.2018.05.006. ISSN 0008-8846.
3. Савицький М., Айріх Ш., Халаф І. З. та ін. Архітектурно-конструктивно-технологічна система 3D-друку будівельних об'єктів : колективна монографія. За заг. ред. д. т. н., проф. М. Савицького. Дніпро : ФОП Удовиченко О. М., 2019. 233 с.
4. Savytskyi M., Konoplanik O., Unčik S., Dukat S., Savytskyi A. Materials for 3D construction printing. Sustainable housing and human settlement : monograph. SHEE "Prydniprovs'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture" – Slovak University of Technology in Bratislava, Dnipro – Bratislava, 2018. Pp. 208–214.