

УДК 66.001.5:693.546

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.261119.91.593

УДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ 3D-ДРУКУ ОБ'ЄКТІВ

ШАТОВ С. В.^{1*}, *д. т. н., доц.*,
САВИЦЬКИЙ М. В.², *д. т. н., проф.*,
МАРЧЕНКО І. О.³

^{1*} Кафедра будівельних та дорожніх машин, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-47, e-mail: shatov.sv@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-1697-2547

² Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-0002-0003

³ Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-44-17, e-mail: gbk@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-4664-8809

Анотація. Постановка проблеми. Різні сфери виробництва застосовують інноваційні будівельні технології, направлені на поліпшення якості житла та зменшення його вартості, зведення сучасних промислових споруд. Ці технології передбачають практичне використання досягнень в ІТ-сфері, які забезпечують новітній напрямок у розвитку будівельних кластерів і розробленні стартапів. До таких технологій належать 3D-друк об'єктів різного призначення. 3D-друк – це процес відтворення реального об'єкту за зразком 3D-моделі. В основі технології 3D-друку лежить принцип пошарового створення твердої моделі. 3D-принтер дозволяє виводити тривимірну інформацію, тобто створювати певні фізичні об'єкти. У будівництві 3D-друку вимагає створення технологій, матеріалів, ефективного обладнання, нормативної бази. **Мета дослідження** – розвиток інноваційної технології 3D-друку в будівництві для створення новітніх стартапів у цій галузі. **Результати дослідження.** Інноваційний проект 3D-друку будівельних об'єктів пов'язаний з удосконаленням обладнання. Розроблено 3D-принтер у вигляді мостової конструкції з поворотним маніпулятором та різні види головок 3D-принтерів: з декількома екструдерами, встановленими на різних рівнях; з рухомим середнім екструдером для укладання елементів жорсткості між зовнішніми та внутрішніми стіновими конструкціями будівель; з можливістю регулювання параметрів шарів сировини, що укладається. **Висновок.** Інноваційні будівельні технології, зокрема, 3D-друк об'єктів, направлені на поліпшення якості житла та зменшення його вартості, зведення сучасних промислових споруд. Розглянуто різні типи будівельних 3D-принтерів, які мають недоліки та вимагають удосконалення. Розроблено перспективні конструкції 3D-принтерів та їх складових частин, які передбачають розширення технологічних властивостей обладнання та підвищення продуктивності.

Ключові слова: 3D-друк будівельних об'єктів; 3D-принтер; ефективне обладнання

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ 3D-ПЕЧАТИ ОБЪЕКТОВ

ШАТОВ С. В.^{1*}, *д. т. н., доц.*,
САВИЦЬКИЙ М. В.², *д. т. н., проф.*,
МАРЧЕНКО И. А.³

^{1*} Кафедра строительных и дорожных машин, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49005, Днепро, Украина, тел. +38 (056) 756-33-47, e-mail: shatov.sv@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-1697-2547

² Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49005, Днепро, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-0002-0003

³ Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49005, Днепро, Украина, тел. +38 (0562) 47-44-17, e-mail: gbk@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-4664-8809

Аннотация. Постановка проблемы. Различные отрасли производств используют инновационные строительные технологии, направленные на улучшение качества жилья и уменьшение его стоимости,

возведение современных промышленных сооружений. Эти технологии предусматривают практическое использование достижений в ИТ-сфере, которые обеспечивают новейшее направление в развитии строительных кластеров и разработке стартапов. К таким технологиям относится 3D-печать объектов различного назначения. 3D-печать – это процесс воспроизводства реального объекта по образцу 3D-модели. В основе технологии 3D-печати лежит принцип послойного создания твердой модели. 3D-принтер позволяет выводить трехмерную информацию, то есть создавать определенные физические объекты. В строительстве 3D-печать требует создания технологий, материалов, эффективного оборудования, нормативной базы. **Цель исследования** – развитие инновационной технологии 3D-печати в строительстве для создания новейших стартапов в этой области. **Результаты исследования.** Инновационный проект 3D-печати строительных объектов связан с совершенствованием оборудования. Разработан 3D-принтер в виде мостовой конструкции с поворотным манипулятором, различные виды головок 3D-принтеров: с несколькими экструдерами, установленными на разных уровнях; с подвижным средним экструдером для укладки элементов жесткости между внешними и внутренними стеновыми конструкциями зданий; с возможностью регулировки параметров слоев уложенного сырья. **Вывод.** Инновационные строительные технологии, в частности 3D-печать объектов, направлены на улучшение качества жилья и уменьшение его стоимости, возведения современных промышленных сооружений. Рассмотрены различные типы строительных 3D-принтеров, которые имеют недостатки и требуют усовершенствования. Разработаны перспективные конструкции 3D-принтеров и их составных частей, которые предусматривают расширение технологических свойств оборудования и повышения производительности.

Ключевые слова: 3D-печать строительных объектов; 3D-принтер; эффективное оборудование

IMPROVEMENT OF 3D PRINTING OBJECT EQUIPMENT

SHATOV S.V.^{1*}, *Dr. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*,
SAVYTSKYI M.V.², *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
MARCHENKO I.O.³

^{1*} Department of Construction and Road Machines, State Higher Education Institution “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (056) 756-33-47, e-mail: shatov.sv@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-1697-2547

² Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, State Higher Education Institution “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-0002-0003

³ Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, State Higher Education Institution “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (0562) 47-44-17, e-mail: gbk@mail.pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0003-4664-8809

Abstract. Problem statement. Various industries use innovative building technologies aimed at improving the quality of housing and reducing its cost, the construction of modern industrial facilities. These technologies provide for the practical use of achievements in the IT sector, which provides the latest direction in the development of building clusters and the development of startups. These technologies include 3D printing of objects for various purposes. 3D printing is the process of reproducing a real object following the model of a 3D model. The technology of 3D printing is based on the principle of layer-by-layer creation of a solid model. 3D printer allows you to display three-dimensional information, that is, to create certain physical objects. In construction, 3D printing requires the creation of technologies, materials, efficient equipment, and a regulatory framework. **Purpose.** The development of innovative 3D printing technology in construction to create the latest startups in this field. **The results of the study.** An innovative project for 3D printing of construction sites is associated with the improvement of equipment. Designed 3D printer in the form of a bridge structure with a rotary manipulator. Various types of 3D printer heads have been developed: with several extruders installed at different levels; with a movable middle extruder for laying stiffeners between the external and internal wall structures of buildings; with the ability to adjust the parameters of the layers of laid raw materials. **Conclusion.** Innovative construction technologies, in particular 3D printing of objects, are aimed at improving the quality of housing and reducing its cost, the construction of modern industrial buildings. This technology provides for the practical use of achievements in the IT field, which provides the latest direction in the development of building clusters and the development of startups. Various types of 3D construction printers are considered, which have drawbacks and require improvement. Promising designs of 3D printers and their components have been developed, which provide for the expansion of technological properties of equipment and increase productivity.

Keywords: 3D- printing of building objects; 3D printer; efficient equipment

Постановка проблеми. Різні сфери виробництва застосовують інноваційні будівельні технології, направлені на поліпшення якості житла та зменшення його вартості, зведення сучасних промислових споруд. Ці технології передбачають практичне використання досягнень в IT-сфері, які забезпечують новітній напрямок у розвитку будівельних кластерів і розробленні стартапів. До таких технологій належить 3D-друк об'єктів різного призначення. 3D-друк (3D-принтинг) – це процес відтворення реального об'єкта за зразком 3D-моделі. На відміну від звичайного принтера, який виводить інформацію на аркуш паперу, 3D-принтер дозволяє виводити тривимірну інформацію,

тобто створювати певні фізичні об'єкти. В основі технології 3D-друку лежить принцип пошарового створення (вирощування) твердої моделі. У будівництві 3D-друку вимагає створення технологій, матеріалів, ефективного обладнання, нормативної бази.

Аналіз публікацій. 3D-друк може здійснюватися різними способами і з використанням різних матеріалів. На разі 3D-принтер знаходить своє застосування в багатьох сферах виробництва (рис. 1): різноманітні макети, елементи машинобудування, архітектура, елементи інтер'єру, різні деталі, харчова промисловість, медицина, військова справа тощо [1; 2; 12; 14].



Рис. 1. Використання 3D-друку в промисловості:
a – машинобудування; б – медицина; в – дизайн; г – харчова; д – військова справа; е – архітектура /
 Fig.1. Use of 3D printing in industry:
a – mechanical engineering; b – medicine; c – design; d – food; e – military affairs; f – architecture

До основних технологій 3D-друку належать [2; 3]:

- *Пошарове виробництво об'єкта*, яке полягає в розкроюванні променем лазера листових різноманітних матеріалів (папір, ламінат, металева фольга, кераміка), а потім нагріваються валики та склеюють отримані шари один з одним (рис. 2, а). До недоліків можна віднести: грубу поверхню виробів, можливість розшарування і помилок при

повному обсязі прорізаного аркуша (зіпсовані шари видаляють).

- *Моделювання методом плавлення* – це технологія тривимірного друку, за якої створення об'єкта відбувається розплавлення нитки пластика, яка через екструдер подається на робочу поверхню, де застигає. Надрукувавши перший шар, робоча платформа спускається і процес починається заново (рис. 2, б).

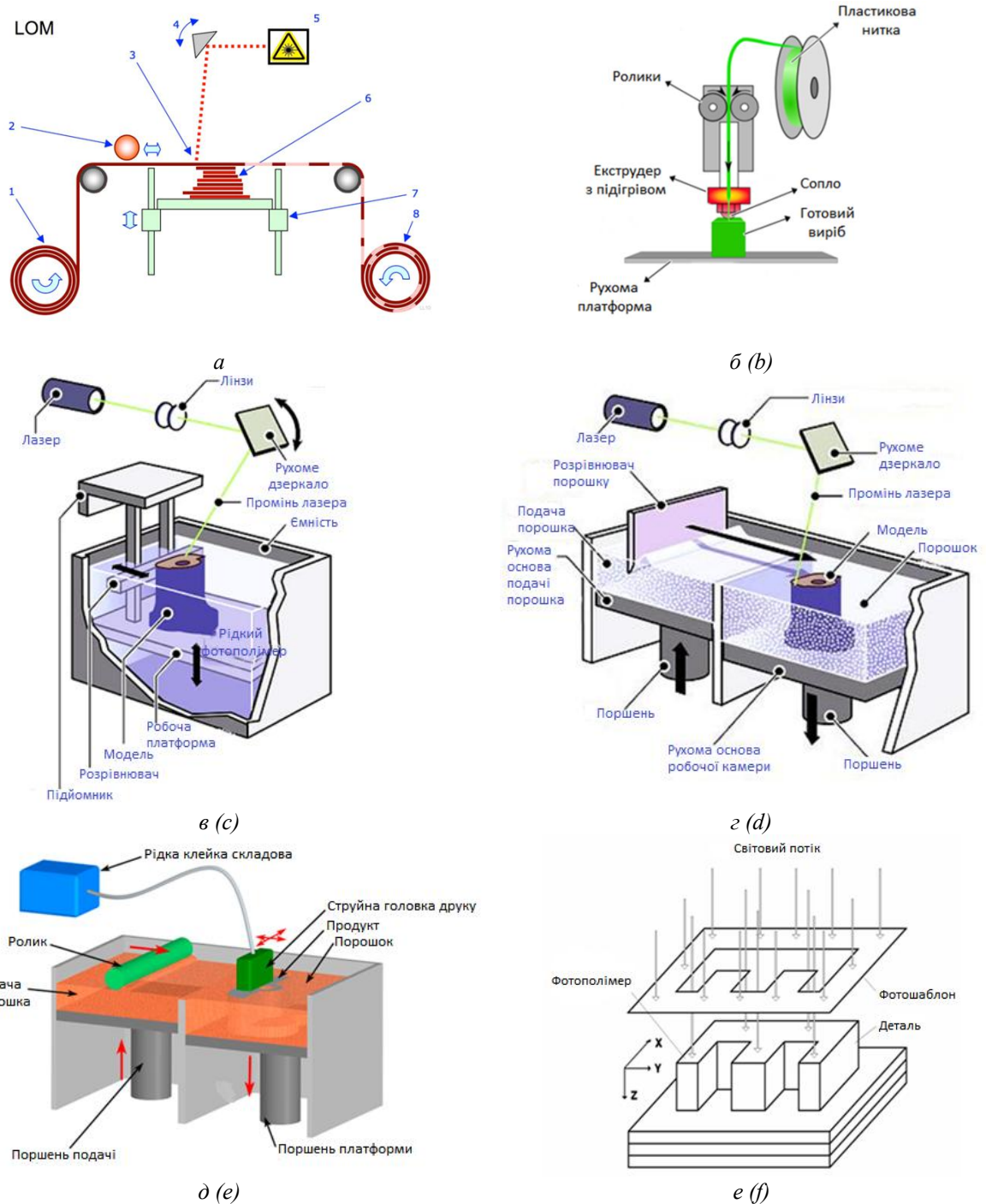


Рис. 2. Технології 3D-друкування:

a – пошарове виробництво об'єкта: 1 – фольга; 2 – ролик із підгрівом; 3 – лазерний промінь; 4 – сканувальна призма; 5 – лазерний пристрій; 6 – шари; 7 – пересувна платформа; 8 – залишки; б – моделювання методом плавлення; в – 3D-принтер із технологією друкування лазерної стереолітографії; г – друкування методом селективного лазерного спікання; д – 3D-принтер із технологією стереоскопічного друкування; е – друкування методом спікання фотополімера / Fig. 2. 3D printing technologies: a – layered production of the object: 1 – foil; 2 – heated roller; 3 – laser beam; 4 – scanning prism; 5 – laser device; 6 – balls; 7 – mobile platform; 8 – residues; б – modelling by melting method; в – 3D printer with laser stereolithography printing technology; д – printing by selective laser sintering; е – 3D printer with stereoscopic printing technology; ф – printing by sintering photopolymer

Це єдина технологія «вирощування» 3D-об'єктів, що використовує промислові

термопластики, які можуть витримувати високу температуру і механічні

навантаження. Пошарова побудова дозволяє отримувати деталі складної геометрії. У методу такі мінуси: пластик плавиться і поширюється на всі боки, тому моделі мають виражену рельєфну поверхню, під час оброблення якої втрачається точність об'єкта.

- *Стереолітографія* – це технологія тривимірного друку, коли фотополімер у рідкому стані за дії світлового випромінювання лазера змінює свої фізичні властивості і твердне (рис. 2, в). Тривимірний об'єкт вирощується шар за шаром, товщина якого становить у середньому 0,1 мм, що забезпечує високу якість друку. Недоліки технології – значна вартість обладнання і мала швидкість друку (кілька міліметрів на годину).

- *Селективне лазерне спікання* подібне до попередньої технології, але сировиною слугує порошкоподібний термопластичний матеріал, який пошарово спікається лазером (рис. 2, г). Порошок у робочій камері розігрівається до температури, близької до плавлення, розрівнюється, і променем лазера на ньому промальовується необхідний контур. У місці контакту променя і порошку частки плавляться і спікаються між собою і з попереднім шаром. Потім платформа опускається на товщину одного шару, в камеру насипається новий шар порошку, розрівнюється, і процес повторюється. Технологія характеризується високою швидкістю друку (до 35 мм/год), але вимагає значного часу підготовки до роботи, для нагрівання порошку і стабілізації температури, а отримані моделі мають пористу і шорстку структуру.

- *Стереоскопічний друк* – метод, який базується на струменевій технології. Принтери подібної конструкції забезпечуються двома інгредієнтами порошкоподібної маси і рідкою речовиною (рис. 2, д). Робоча камера кожного принтера складається з двох частин: перша – камера подачі порошку, а друга – це камера побудови, в якій вирощується необхідна 3D-модель. Спочатку по всій площині камери побудови рівномірно розподіляється потрібний матеріал. Потім на тонкий

перший шар наноситься спеціальна сполучна речовина, яка склеює все частки матеріалу між собою. Після того, як на платформу був нанесений клей, вони змішуються. При цьому платформа подає камери вгору, а платформа області побудови опускається вниз. Зсув повинен відбуватися на однакову висоту. Відразу ж після зсуву головка знову починає свій рух, нарощуючи модель.

- *Спікання фотополімера* – цей метод заснований на тому, що спеціальним тонером на скляній пластині повинен бути створений шаблон певної моделі (рис. 2, е). Над тонким шаром фотополімеру, що міститься на робочому столі, розміщується створена фотомаска, яка в подальшому повинна експонуватися ультрафіолетовою лампою.

Відповідний використовуваному шаблону шар фотополімеру твердне, а всі рідкі залишки при цьому видаляються. На наступному етапі всі порожнини повинні бути заповнені розплавленим воском, який досить швидко застигає. Потім процес знову повторюється, але при цьому вже створюється шаблон для наступного шару.

Перевага технології в тому, що процес у будь-який момент можна призупинити, а потім відновити з того ж місця (це актуально, коли потрібно видалити дефектні шари або забруднення). Принтер створює моделі з рушійними складовими частинами. Недоліки принтера: значний шум і велика маса; постійна присутність оператора.

Будівельний 3D-принтер [11; 13] використовує технологію екструджування, коли кожен новий шар будівельного матеріалу видавлюється з принтера поверх попереднього (рис. 3).



Рис. 3. Процес укладання матеріалу /
Fsig. 3. Loaders with work equipment

Будівельні принтери поділяються на дві групи: принтери, які друкують будівлю повністю (рис. 4, а, б), і ті, що друкують окремі конструктивні елементи (рис. 4, в, г), використувані для зведення об'єктів.



а



б (b)



в (c)



г (d)

Рис. 4. 3D-друкування будівельних об'єктів:
а – будівельний 3D-принтер; б – зведена будівля;
в – друкування конструкцій; г – монтаж друкованих будівельних конструкцій /

Fig. 4. 3D printing of building objects:
а – 3D construction printer; б – erected building;
с – printing designs; д – installation of printed building structures

3D-друку будівельних об'єктів – це нова технологія зведення будівель і споруд [3; 4], що дозволяє в найкоротші терміни звести житло за індивідуальним проектом із використанням різних матеріалів.

Застосування принтерів для друку окремих елементів конструкцій в умовах виробництва дозволяє виключити сезонність будівництва, тобто друкувати частини будівель, витримувати їх у складських приміщеннях до набирання міцності бетоном і після цього складання їх на будівельному майданчику (рис. 4, г).

У процесі створення готових об'єктів задіяні мінімально двоє людей: оператор (безпосередньо керує принтером) і робітник (готує суміш, армує вироби у процесі друку, готує обладнання до використання на початку і кінці зміни). Кількість робітників залежить від розмірів обладнання і складності технологічного процесу, що залежить від конструктивних рішень виготовленого об'єкта.

Принтери для 3D-друку (рис. 5) мають різні габаритні розміри і масу, наприклад, принтер формату 12 × 12 метрів, призначений для друку елементів будівель, предметів ландшафтного дизайну висотою до 3 метрів – великогабаритна 120-тонна конструкція (рис. 5, а).

Для друку окремих конструкцій у закритих приміщеннях застосовують малоформатні принтери з ємністю накопичувача головки 18...32 літрів, габаритами 4 × 6 метрів і масою 620 кг (рис. 5, б, г). На даному етапі конструкції принтерів дозволяють створювати малоповерхові будівлі різних конфігурацій із застосуванням різних сумішей.

Перед початком будівництва з використанням 3D-друку раціонально змодельовати форму споруди і відпрацювати технологічний процес друкування об'єкта. Це проводиться обладнанням малого формату з використанням реальних будівельних сумішей, що дозволяє перевірити прийняті проектні архітектурно-конструктивні рішення.

Реальні будівельні суміші на основі гіпсу використовують для друку моделі

будівлі, а цементні суміші створюють вироби, призначені для експлуатації поза приміщеннями. На моделях відпрацьовують процес горизонтального і вертикального армування, установки каркасів усередину

порожнин стін, прокладання комунікацій. Важливий аспект у тому, що надруковані зразки зручні для проведення лабораторних досліджень за тими чи іншими параметрами.



a



б (b)



в (c)



г (d)

Рис. 5. Будівельні принтери:

a – формату 12 x 12 м; б – формату 4,1 × 2,5 м; в – формату 8 x 12 м; г – формату 6,2 x 3,5 м /

Fig. 5. Construction printers:

a – 12 x 12 meters; b – 4.1 x 2.5 meters; c – format 8 x 12 meters; d – format 6.2 x 3.5 meters

Останнім часом почали випускати 3D-принтери з нагнітанням суміші в екструдер бетононасосами, що значно підвищило їх продуктивність (рис. 6).

Мета дослідження – розвиток інноваційних технологій в будівництві для створення новітніх стартапів у цій галузі.

Результати дослідження. Інноваційний проект 3D-друку будівельних об'єктів пов'язаний з удосконаленням обладнання. Для будівництва об'єктів значного обсягу розроблено 3D-принтер у вигляді рухомої конструкції 1–3 з маніпулятором 7. На маніпуляторі 7 встановлено бункер 19 (рис. 7). На металевій конструкції [5] закріплено трубопровід 20, за допомогою якого бетон подається від бетононасоса, що встановлюється поруч з опорами 1 та 2, у

бункер 19. У насос бетон доставляється з бетонних заводів бетоновозами.



a



б (b)

Рис. 6. Будівельні принтери з нагнітанням суміші у екструдер бетононасосами /

Fig. 6. Construction printers with injection of a mixture into the extruder with concrete pumps

Переміщенням візка 4, балки 5 та платформи 6 маніпулятор 7 установлюється на початкове положення подачі бетону. Робочим телескопічним обладнанням 8 та головкою друку 9 відповідно до комп'ютерної програми виконується подача бетону та формування будівельного об'єкта. Вертикальне переміщення поворотного маніпулятора 7 здійснюється приводом 13.

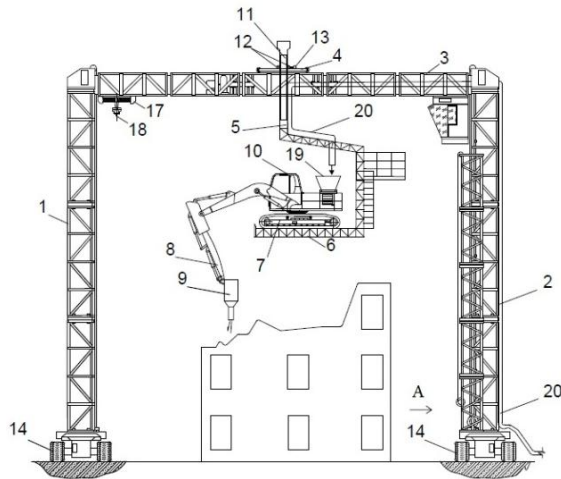


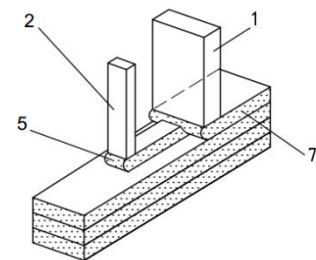
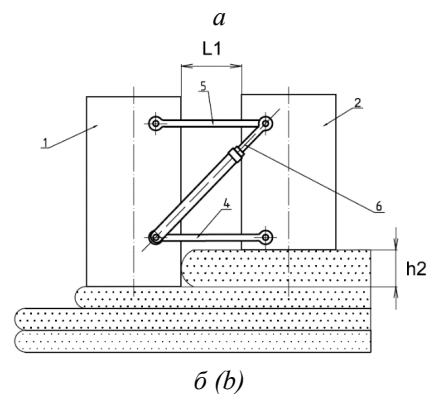
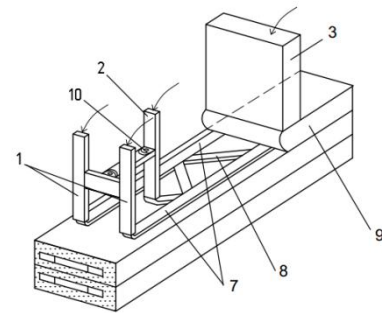
Рис. 7. Принтер із будівельним маніпулятором:
 1, 2 – опори; 3 – міст; 4 – візок; 5 – балка;
 6 – платформа; 7 – маніпулятор; 8 – телескопічне
 обладнання; 9 – головка друку; 10 – кабіна;
 11 – зубчаста рейка; 12 – шестерні; 13 – привод
 шестерень; 14 – гусеничні візки; 17 – вантажний
 візок; 18 – гакова підвіска; 19 – приймальний бункер;
 20 – трубопровід / Fig. 7. Printer with construction
 manipulator: 1, 2 – supports; 3 – a bridge; 4 – the cart;
 5 – beam; 6 – platform; 7 – the manipulator;
 8 – telescopic equipment; 9 – print head; 10 – cabin;
 11 – gear rack; 12 – gears; 13 – gear drive;
 14 – caterpillar carts; 17 – cargo trolley; 18 – hook
 suspension; 19 – receiving hopper; 20 – a pipeline

Розроблені конструкції головок (рис. 8), які дозволяють: підвищити продуктивність 3D-друкування об'єктів, технологічні можливості процесу, використовувати різноманітні будівельні матеріали та реалізувати складні архітектурні рішення. Головки можуть бути:

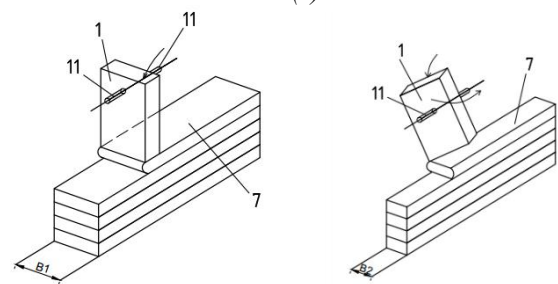
- з рухомим середнім екструдером [9], для укладання елементів жорсткості та утеплювача між зовнішніми та внутрішніми стіновими конструкціями будівель (рис. 8, а);

- з декількома екструдерами [6; 8], встановленими на різних рівнях для

підвищення продуктивності процесу друку (рис. 8, б, в);



в (с)



г (d)

Рис. 8. Головки для 3D-друку будівельних об'єктів:
 а, б, в – з декількома екструдерами;
 г – з поворотним екструдером; 1, 2, 3 – екструдери;
 4, 5 – важелі; 6 – привод; 7, 8, 9 – шари бетону;
 10 – тяга; 11 – вісь / Fig. 8. Heads for 3D printing of
 building objects: а, б, в – with several extruders;
 г – with a rotary extruder; 1, 2, 3 – extruders;
 4, 5 – levers; 6 drive; 7, 8, 9 – layers of concrete;
 10 – thrust; 11 – axis

- з поворотним екструдером [7] із метою регулювання параметрів шарів сировини, що укладається (рис. 8, г).

Суттєвий недолік відомих головок полягає в тому, що вони мають задану форму вихідного отвору екструдера (прямокутну – для прямих ділянок виробів або круглу – для криволінійних). Це обмежує використання та ефективність роботи цього обладнання для 3D-друку будівельних виробів складної форми.

У головці (рис. 9), яка містить корпус для суміші зі шнеком та екструдер, останній

виконаний із двома вихідними отворами прямокутної та круглої форм, розташованими послідовно, причому корпус оснащений керованим розподільником суміші. Це дозволяє виконувати укладання бетону з різною траєкторією руху головки.

Головка містить корпус 1 з порожниною 2 і шнеком 3 й екструдер 4 та переміщується по напрямній 5. Екструдер 4 виконаний із двома вихідними отворами прямокутної 6 та круглої 7 форм, розташованими послідовно один за іншим.

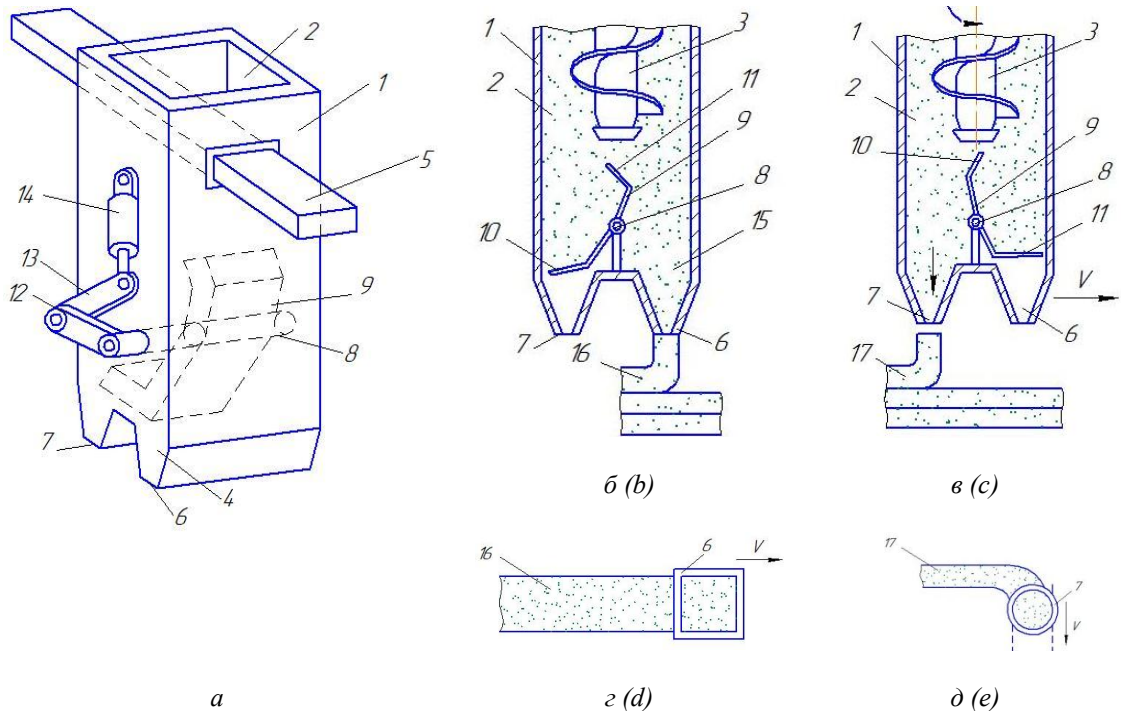


Рис. 9. Головка друку із декількома екструдерами:

a – загальний вигляд; *б, г* – процес нагнітання суміші через прямокутний отвір екструдера; *в, д* – процес нагнітання суміші через круглий отвір екструдера. 1 – корпус; 2 – порожнина; 3 – шнек; 4 – екструдер; 5 – напрямна; 6, 7 – отвір; 8 – вісь; 9 – розподільник; 10, 11 – затвор; 12, 13 – важіль; 14 – циліндр;

15, 16, 17 – шар бетону / Fig. 9. Print head with multiple extruders:
a – general view; *б, г* – is the process of pumping the mixture through a rectangular hole extruder; *в, д* – the process of injection of the mixture through the round hole of the extruder; 1 – the case; 2 – the cavity; 3 – auger; 4 – extruder; 5 – guide; 6, 7 – hole; 8 – axis; 9 – distributor; 10, 11 – prison; 12, 13 – lever; 14 – cylinder; 15, 16, 17 – layer of concrete

Під шнеком 3 на осі 8 встановлено розподільник 9, виконаний у вигляді коромисла та затворів 10 і 11. Вісь 8 важелями 12 і 13 з'єднана із циліндром 14, який встановлений на корпусі 1, керування розподільником 9.

Головка працює таким чином. Під час переміщення корпусу 1 по напрямній 5, у

порожнину 2 корпусу 1 подається суміш 15. Під час переміщення головки по прямій траєкторії циліндром 14 встановлюється таке положення розподільника 9, за якого затвор 10 перекриває отвір 7 круглої форми (рис. 9, б). За рахунок обертання шнека 3 виконується нагнітання суміші 15 через

прямокутний вихідний отвір 6, що формує шар 16 для виготовлення виробу.

При наближенні головки до криволінійної ділянки руху циліндр 14 виконує поворот осі 8 і затвор 11 перекриває вихідний отвір 6. Відкривається вихідний отвір 7 у вигляді кола, який формує шар 17 суміші 15 (рис. 9, в, д).

Виконання головки принтера із шнеком, установленим відносно приводного вала (рис. 10) з можливістю вертикального переміщення, дозволяє укладати бетон із заповнювачами різних фракцій.

Головка містить корпус 1 й екструдер 2 та переміщується по напрямній 3. В корпусі

1 установлено вал 4, на якому з можливістю вертикального переміщення змонтовано шнек 5 із гвинтовою лопаттю 6.

Механізм переміщення шнека 5 виконаний у вигляді кулачкової поверхні 7 його верхньої частини 8 та ролика 9, установленного через важіль 10 у корпусі 1. На валу 4 закріплено обмежувач 11 та пружний елемент 12. Обмежувач 11 установлений в повздовжньому пазу 13 на шнеку 5. На шнеку 5 закріплено скребок 14. Шнек 5 має привод обертання (умовно не показано).

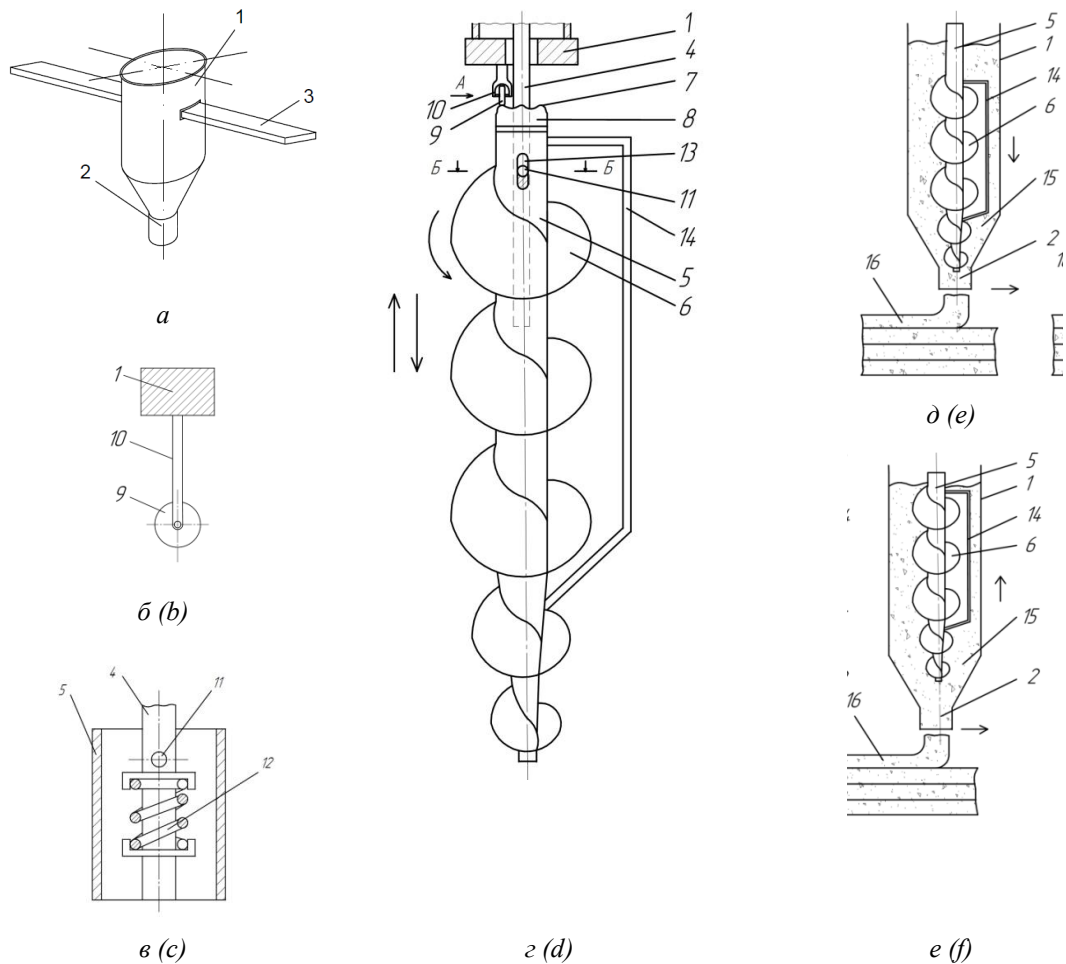


Рис. 10. Головка друку із шнеком, який обертається та переміщується вертикально:
 а – загальний вигляд; б – вигляд А; в – переріз Б-Б; г – шнек із механізмом його вертикального переміщення;
 д, е – процес укладання будівельної суміші за різних положень шнека. 1 – корпус; 2 – екструдер; 3 – напрямна;
 4 – вал; 5 – шнек; 6 – гвинтова лопать; 7 – кулачкова поверхня; 8 – верхня частина; 9 – ролик; 10 – важіль;
 11 – обмежувач; 12 – пружний елемент; 13 – паз; 14 – скребок; 15 – суміш; 16 – шар бетону / Fig. 10. Print head
 with screw that rotates and moves vertically: a – general view; б – view A; в – section Б-Б; г – auger with the
 mechanism of its vertical movement; д, е – the process of laying the mortar at different positions of the auger.
 1 – the case; 2 – extruder; 3 – a guide; 4 – shaft; 5 – auger; 6 – screw blade; 7 – cam surface; 8 – the upper part;
 9 – roller; 10 – lever; 11 – limiter; 12 is an elastic element; 13 – groove; 14 – scraper; 15 – the mixture;
 16 – layer of concrete

Головка працює таким чином. Під час переміщення корпусу 1 по напрямній 3 у корпус 1 подається будівельна суміш 15, яка за рахунок обертання шнека 5 та скребка 14 забезпечує нагнітання суміші 15 в екструдер 2. При цьому за рахунок контакту ролика 9 та кулачкової поверхні 7 відбувається вертикальне переміщення (коливання) шнека 5 (рис. 10, д, е). Це забезпечує інтенсивне нагнітання сировини 15, яка може мати заповнювач великої фракції, в екструдер 2, а потім укладання її в шар 16 будівельного об'єкта.

Виконання шнека з можливістю вертикального переміщення відносно вала та корпусу забезпечує укладання бетону із заповнювачами різних фракцій залежно від технологічних вимог будівництва, що підвищує ефективність 3D-друку будівельних об'єктів.

Усі розглянуті інноваційні будівельні технології потребують подальшого розвитку та реалізації у форматі стартапів.

Висновки. 1. Інноваційні будівельні технології, зокрема 3D-друку об'єктів, направлені на поліпшення якості житла та зменшення його вартості, зведення сучасних промислових споруд. Ця технологія передбачає практичне використання досягнень в ІТ-сфері, яка забезпечує новітній напрямок у розвитку будівельних кластерів і розробленні стартапів.

2. Розглянуто різні типи будівельних 3D-принтерів, які мають недоліки та вимагають удосконалення.

3. Розроблено перспективні конструкції 3D-принтерів та їх складових частин, які передбачають розширення технологічних властивостей обладнання та підвищення продуктивності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Будко А. А. Применение 3D принтеров в строительстве, достоинства и недостатки технологии / А. А. Будко, А. А. Потехин, А. А. Акопян // Сб. научн. трудов. – Красноярск : Инновационный центр развития образования и науки, 2017. – С. 112–119.
2. Лунева Д. А. Применение 3d-печати в строительстве и перспективы ее развития / Д. А. Лунева, Е. О. Кожевникова, С. В. Калошина // Вестник Пермского национального исследовательского университета. Строительство и архитектура. – 2017. – Т. 8, № 1. – С. 90–101.
3. Торшин А. О. / Перспективы использования 3D-принтера в строительстве / А. О. Торшин, Е. Н. Потапова // Успехи в химии и химической технологии. – ТОМ XXX, № 7. – Москва, 2016. – С. 118–120.
4. Шатов С. В. Обобщение инновационных технологий 3D-печати строительных объектов для разработки стартапов / С. В. Шатов, Н. В. Савицкий, С. А. Карпушин // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. – Днепро : ГВУЗ ПГАСА, 2017. – Вып. 99. – С. 194–200.
5. Патент 109807 України, опубл. 12.09.2016, Бюл. № 17. – 5 с.
6. Патент 112205 України, опубл. 12.12.2016, Бюл. № 23. – 4 с.
7. Патент 115596 України опубл. 25.04.2017, Бюл. № 28. – 4 с.
8. Патент 116549 України опубл. 25.05.2017, Бюл. № 10. – 3 с.
9. Патент 123106 України опубл. 12.02.2018, Бюл. № 3. – 4 с.
10. Патент 123108 України опубл. 12.02.2018, Бюл. № 3. – 3 с.
11. Khoshnevis B. Automated Construction by Contour Crafting-Related Robotics and Information Technologies / Behrokh Khoshnevis // Automation in Construction. – 2004. – Vol. 13, iss. 1. – Pp. 5–19. – Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580503000736>
12. Lipson H. Fabricated. The New World of 3D Printing / Hod Lipson, Melba Kurman. – [Indiana]: Wiley, 2013. – 320 p.
13. Savytskyi M. V. 3D-printing of build objects / M. V. Savytskyi, S. V. Shatov, O. A. Ozhyshchenko // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпро : ДВНЗ ПДАБА, 2016. – № 3. – С. 18–26.
14. Joop de Boer. Which Architect Is Winning The 3D Printing Rat Race? / Joop de Boer // Pop-Up City. – 2014. – 1 July. – Available at: <http://popupcity.net/which-architect-is-winning-the-3d-printing-rat-race>

REFERENCES

1. Budco A.A. *Primenenie 3D-printerov v stroitel'stve, dostoitstva i nedostatki technologyi* [The use of 3d printers in construction, advantages and disadvantages of technology]. *Sbornik nauchnikh trudov* [Collection of scientific

- papers]. Krasnoyarsk : Innovation Center for the Development of Education and Science, 2017, pp. 112–119. (in Russian).
2. Luneva D.A. *Primenenie 3D-pechati v stroitelstve i perspective razvitiyi* [The use of 3d printing in construction and the prospects for its development]. *Vesnik Perskogo nachionalnogo isledovatelskogo universiteta* [Bulletin of Perm National Research University]. 2017, iss. 8, no.1, pp. 90–101. (in Russian).
 3. Torchin A.O. *Perspective ispolzovaniy 3D-printera v stroitelstve* [Prospects for the use of a 3D printer in construction]. *Uspechi v khimii i khimicheskoye tekhnologii* [Advances in chemistry and chemical technology]. 2016, iss. XXX, no.7, pp. 118–120. (in Russian).
 4. Shatov S.V., Savitskiy M.V. and Carpushin S.A. *Obobchenie innovatsionnykh tekhnologii 3D-pechati stroitelnykh obektov gly razrabotki startapov* [Generalization of innovative 3D printing technologies for construction projects for startup development]. *Stroitel'stvo. Materialovedenie. Mashynostroenie* [Construction. Materials Science. Mechanical Engineering]. Dnipro : SHEE PSACEA, 2017, iss. 99, pp. 194–200. (in Russian).
 5. Patent UA, no. 109807, 2016, news. No. 17, 5 p.
 6. Patent UA, no. 112205, 2016, news. No. 23, 4 p.
 7. Patent UA, no. 115596, 2017, news. No. 28, 4 p.
 8. Patent UA, no. 116549, 2017, news. No. 10, 3 p.
 9. Patent UA, no. 123106, 201, news. No. 3, 4 p.
 10. Patent UA, no. 123108, 2018, news. No. 3, 3 p.
 11. Khoshnevis B. Automated Construction by Contour Crafting-Related Robotics and Information Technologies. *Automation in Construction*, 2004, vol. 13, iss. 1, pp. 5–19.
 12. Lipson H. and Kurman Melba Fabricated. *The New World of 3D Printing*. Indiana: Wiley, 2013, 320 p.
 13. Savitskiy M.V., Shatov S.V. and Ozhyshchenko O.A. *3D-pechatane stroitelnykh obektov* [3D-printing of build objects]. *Vesnik Pridneprovskoy dergavnoy akademiy stroitelstva i architektury* [Bulletin of Pridneprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture]. Dnipro: SHEE PSACEA, 2016, no. 3, pp. 18–26.
 14. Joop de Boer. Which Architect Is Winning The 3D Printing Rat Race? *Pop-Up City*. 2014, 1 July.

Надійшла до редакції: 08.11.2019.