

УДК 66.001.5:693.546

ОБОБЩЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ 3D-ПЕЧАТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СТАРТАПОВ

ШАТОВ С. В. ^{1*}, *д.т.н, доц.*,
САВИЦКИЙ Н. В. ², *д.т.н, проф.*,
КАРПУШИН С. А. ³, *к.т.н., доц.*

^{1*} Кафедра строительных и дорожных машин, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 (056) 756-33-47, e-mail: shatovsv@yandex.ua, 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, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-0002-0003

³ Кафедра строительных, дорожных машин и строительства, Кировоградский национальный технический университет, пр. Университетский, 8, Кропивницкий, Украина, 25030, тел. +38 (0522) 39-04-71, e-mail: karp22.05.1972ksa@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9035-9065

Аннотация. *Цель.* Анализ существующих методов создания физических объектов 3D-печатами и усовершенствование технологии и оборудования для печати зданий и сооружений. *Методика.* В конструкции 3D-принтера предложено установить строительный манипулятор с печатной головкой с несколькими экструдерами, расположенные на разных уровнях. *Результаты и практическая значимость.* Строительные 3D-принтеры – это оборудование нового поколения для возведения зданий и сооружений, а также элементов конструкций. Разнообразие строительной печатной техники открывает широкие возможности в строительной индустрии. На данном этапе конструкции принтеров позволяют создавать малозатяжные постройки различных конфигураций с применением разных строительных смесей. Разработаны предложения по повышению теплоизоляционных свойств возводимых 3D-печатами объектов и усовершенствованию технологического оборудования.

Ключевые слова: 3D-печать, принтер, печатная головка, экструдер, здание

УЗАГАЛЬНЕННЯ ІНОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ 3D-ДРУКУ БУДІВЕЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ ДЛЯ РОЗРОБКИ СТАРТАПІВ

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

^{1*} Кафедра будівельних та дорожніх машин, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-47, e-mail: shatovsv@yandex.ua, 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, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-0002-0003

³ Кафедра будівельних, дорожніх машин і будівництва, Кировоградський національний технічний університет, пр. Університетський, 8, Кропивницький, Україна, 25030, тел. +38 (0522) 39-04-71, e-mail: karp22.05.1972ksa@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9035-9065

Анотація. *Мета.* Аналіз існуючих методів створення фізичних об'єктів 3D-друкуванням і удосконалення технології і устаткування для друку будівель і споруд. *Методика.* Аналіз існуючих методів створення фізичних об'єктів 3D-друкуванням і удосконалення технології і устаткування для друку будівель і споруд. *Результати та практична значимість.* Будівельні 3D-принтери – це устаткування нового покоління для зведення будівель і споруд, а також елементів конструкцій. Різноманітність будівельної друкарської техніки відкриває широкі можливості в будівельній індустрії. На даному етапі конструкції принтерів дозволяють створювати малоповерхові споруди різних конфігурацій із застосуванням різних будівельних сумішей. Розроблені пропозиції по підвищенню теплоізоляційних властивостей об'єктів, що зводяться 3D-печатами, і удосконаленню технологічного устаткування.

Ключові слова: 3D-друкування, принтер, головка для друкування, екструдер, будівля

GENERALIZATION OF NEWS OF TECHNOLOGIES OF 3D-PRINTING OF BUILDING OBJECTS FOR DEVELOPMENT OF STARTUPS

SHATOV S. V. ^{1*}, *Dr. Sc. (Tech.), As. Prof.*,
SAVYTSKYI N. V. ², *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
KARPUSHIN S. A. ³, *Cand. Sc., As. Prof.*

^{1*} Department build and road wave, State Higher Education Establishment “Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernishevskogo str., Dnipro, 49600, Ukraine, тел. +38 (056) 756-33-47, e-mail: shatovsv@yandex.ua, ORCIDID: 0000-0002-1697-2547

² Department of Reinforce-Concrete and Stone Constructions, State Higher Education Establishment “Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernishevskogo str., Dnipro, 49600, Ukraine, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-0002-0003

³ Department build, road wave and building, Kirovogradscy National Technical University, 8, University str., Kropivnicyy, Ukraine, 25030, тел. +38 (0522) 39-04-71, e-mail: karp22.05.1972ksa@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9035-9065

Summary. Purpose. Analysis of existent methods of creation of physical objects a 3D-printing and improvement of technology and equipment for the seal of buildings and buildings. **Methodology.** Analysis of existent methods of creation of physical objects a 3D-printing and improvement of technology and equipment for the seal of buildings and buildings. **Findings and practical value.** Build 3D-printers are an equipment of new generation for erection of buildings and buildings, and also elements of constructions. The variety of a build printing technique opens wide possibilities in a build industry. On this stage of construction of printers allow to create of small floors buildings of different configurations with the use of different build mixtures. Developed suggestion on the increase of heat-insulation properties of the objects erected a 3D-printing and to the improvement of technological equipment.

Key words: 3D-printing, printer, printing head, extruder, building

Проблема

3D-печать (3D-принтинг) – это процесс воссоздания реального объекта по образцу 3D-модели. В отличие от обычного принтера, который выводит информацию на лист бумаги, 3D-принтер позволяет выводить трёхмерную информацию, т.е. создавать определённые физические объекты. В основе технологии 3D-печати лежит принцип послойного создания (выращивания) твёрдой модели. 3D-печать может осуществляться разными способами и с использованием различных материалов, но в основе любого из них лежит принцип послойного создания (выращивания) твёрдого объекта. На данный момент 3D-принтер находит свое применение во многих сферах производства: элементы машиностроения, разнообразные макеты, элементы интерьера, различные детали. В строительстве 3D-печать требует создания технологий, эффективного оборудования, нормативной базы.

Анализ публикаций

К основным технологиям 3D-печати относятся [7 - 13]:

- *послойное производство объекта*, которое заключается в раскройке лучом лазера листовых разнообразных материалов, а затем нагреваемые валики склеивают полученные слои друг с другом. Недостатки метода: грубая поверхность изделий, возможность расслоения;

- *моделирование методом плавления* — это технология трехмерной печати, при которой создание

объекта происходит расплавлением нити пластика, которая через экструдер подается на рабочую поверхность и там застывает (рис. 1). Это единственная технология «выращивания» 3D-объектов, использующая термопластики, которые могут выдерживать высокую температуру и механические нагрузки.

Послойное построение позволяет получать детали сложной геометрии. У метода такие минусы: пластик плавится и распространяется во все стороны, поэтому модели имеют выраженную рельефную поверхность, обрабатывая которую теряется точность объекта;

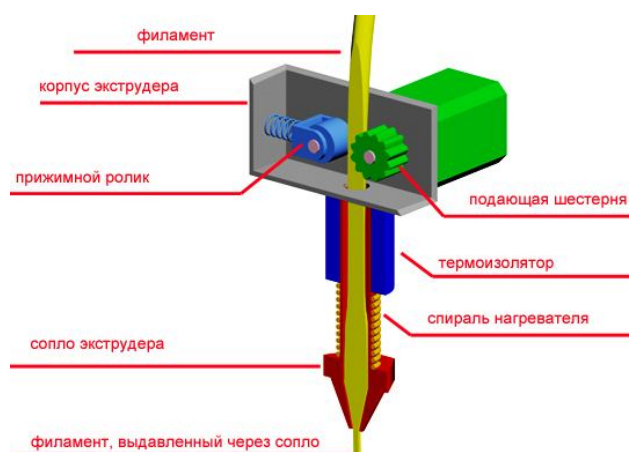


Рис. 1. 3D-принтер на основе метода плавления /
3D-printers with technology by melting method

- *лазерная стереолитография* - это технология трехмерной печати, при которой фотополимер в жидком состоянии под действием светового излучения лазера меняет свои физические свойства и затвердевает. Трехмерный объект выращивается слой за слоем, толщина которого составляет в среднем 0,1 мм, что обеспечивает высокое качество печати. Недостатками технологии являются значительная стоимость оборудования и малая скорость печати;

- *селективное лазерное спекание* подобно предыдущей технологии, но сырьем является порошкообразный термопластичный материал, послойно спекаемый лучом лазера. Технология характеризуется высокой скоростью печати (до 35 мм/час), но требует значительного времени подготовки к работе, а полученные модели имеют пористую структуру;

- *стереоскопическая печать* - метод, базирующийся на струйной технологии. Принтеры подобной конструкции снабжаются двумя ингредиентами - жидким связующим веществом и порошкообразной массой. Рабочая камера каждого принтера состоит из двух частей: первой частью является камера подачи порошка, а вторая - это камера построения;

- *спекание фотополимера* - этот метод основан на том, что специальным тоном на стеклянной пластине должен быть создан шаблон определенной модели. Над тонким слоем фотополимера, который находится на рабочем столе, размещается созданная фотомаска, которая в дальнейшем должна экспонироваться ультрафиолетовой лампой. Недостатки: сильный шум, большая масса, постоянное присутствие оператора.

3D-печать строительных объектов - это новая технология возведения зданий и сооружений, позволяющая в кратчайшие сроки возвести жилье по индивидуальному проекту с использованием различных материалов. Строительный 3D-принтер использует технологию экструдирования, при которой каждый новый слой строительного материала выдавливается из принтера поверх предыдущего. Строительные принтеры делят на две группы: принтеры, печатающие здание целиком (рис. 2, а, б), и принтеры, печатающие отдельные конструктивные элементы, которыми собирают объект (рис. 2, в). В качестве таких конструкций могут выступать так же макеты зданий из реальных строительных материалов, элементы ландшафтного дизайна (рис. 2, г).

Применение принтеров для печати отдельных элементов конструкций в условиях производства позволяет исключить сезонность строительства, т.е. печатать части зданий, выдерживать их в складских помещениях до набора прочности бетона и после этого собирать их в здание на строительной площадке (рис. 2, в).

Принтеры для 3D-печати имеют различные габаритные размеры и массу, например, принтер формата 12 x 12 метров (рис. 3, а).



а



б



в



г

Рис. 2. 3D-печать строительных объектов:
а, б - возведение здания; в - монтаж печатных конструкций; г - элементы ландшафтного дизайна /

3D-printing of constructions:
а, б - building; в - assembly of printed building structures;
г - elements of landscape design

Он предназначен для печати элементов зданий, предметов ландшафтного дизайна высотой до 3 метров – это крупногабаритная 120-тонная конструкция

Для печати отдельных конструкций в закрытых помещениях применяют малоформатные принтеры с емкостью накопителя головки 18...32 литров, габаритами 4,1 x 2,5 метров и массой 620 кг (рис. 3, б). На данном этапе конструкции принтеров позволяют создавать малоэтажные постройки различных конфигураций с применением разных строительных смесей.



а



б

Рис. 3. Строительные принтеры:

а – формат 12 x 12 метров; б – формат 4,1 x 2,5 метров /

Building printers:

а – format 12 x 12 metres; б – format 4,1 x 2,5 metres

Преимущества 3D-печати:

- возможность создавать объекты любой формы и сложности;
- быстрота возведения;
- применение разных материалов, в том числе и экологически чистых;
- безотходность производства;
- легкость технологического процесса;
- уменьшение человеческого фактора, а соответственно повышение качества и точности строительства.

К недостаткам такой строительной технологии следует отнести:

- объекты возведения не имеют эффективной теплоизоляции и обладают высоким энергопотреблением;

- элементы технологической оснастки требуют дальнейшего совершенствования.

Цель

Целью исследования является анализ существующих методов создания физических объектов 3D-печатью и совершенствование технологии и оборудования для печати зданий и сооружений.

Методика

В конструкции 3D-принтера предложено установить строительный манипулятор с печатной головкой с несколькими экструдерами, расположенные на разных уровнях.

Результаты исследования

Перед началом строительства с использованием 3D-печати рационально смоделировать форму сооружения и отработать технологический процесс печатания объекта (3D-моделирование). Это производится оборудованием малого формата с использованием реальных строительных смесей, что позволяет проверить принятые проектные архитектурно-конструктивные решения. Реальные строительные смеси на основе гипса используют для печати модели здания, а цементные смеси создают изделия, предназначенные для эксплуатации вне помещений. На моделях отрабатывают процесс горизонтального и вертикального армирования, установки армирующих каркасов внутрь полостей стен, прокладку коммуникаций. Важным аспектом является то, что напечатанные образцы удобны для проведения лабораторных исследований по тем или иным параметрам.

Перед началом работы приготавливают строительную смесь в соответствии с требованиями данного оборудования. Кроме места для установки самого 3D-принтера, требуется предусмотреть участок подготовки смеси и её подачи в печатающую головку принтера, участок предварительной сушки, складские помещения и участок погрузки (рис. 4). Целесообразно принтер оснащать строительным манипулятором 7 и подъемной платформой 6 [3], что позволяет последовательно наращивать объект. Это позволяет подавать печатную головку 9 в любую точку объекта с минимальными затратами времени. Кроме того, разное исполнение экструдеров этой головки значительно повысит производительность печати и ее качество. Дальнейшая работа над этими вопросами является перспективным направлением исследований и разработкой стартапов (инновационных проектов) в экологическом строительстве [4 - 6].

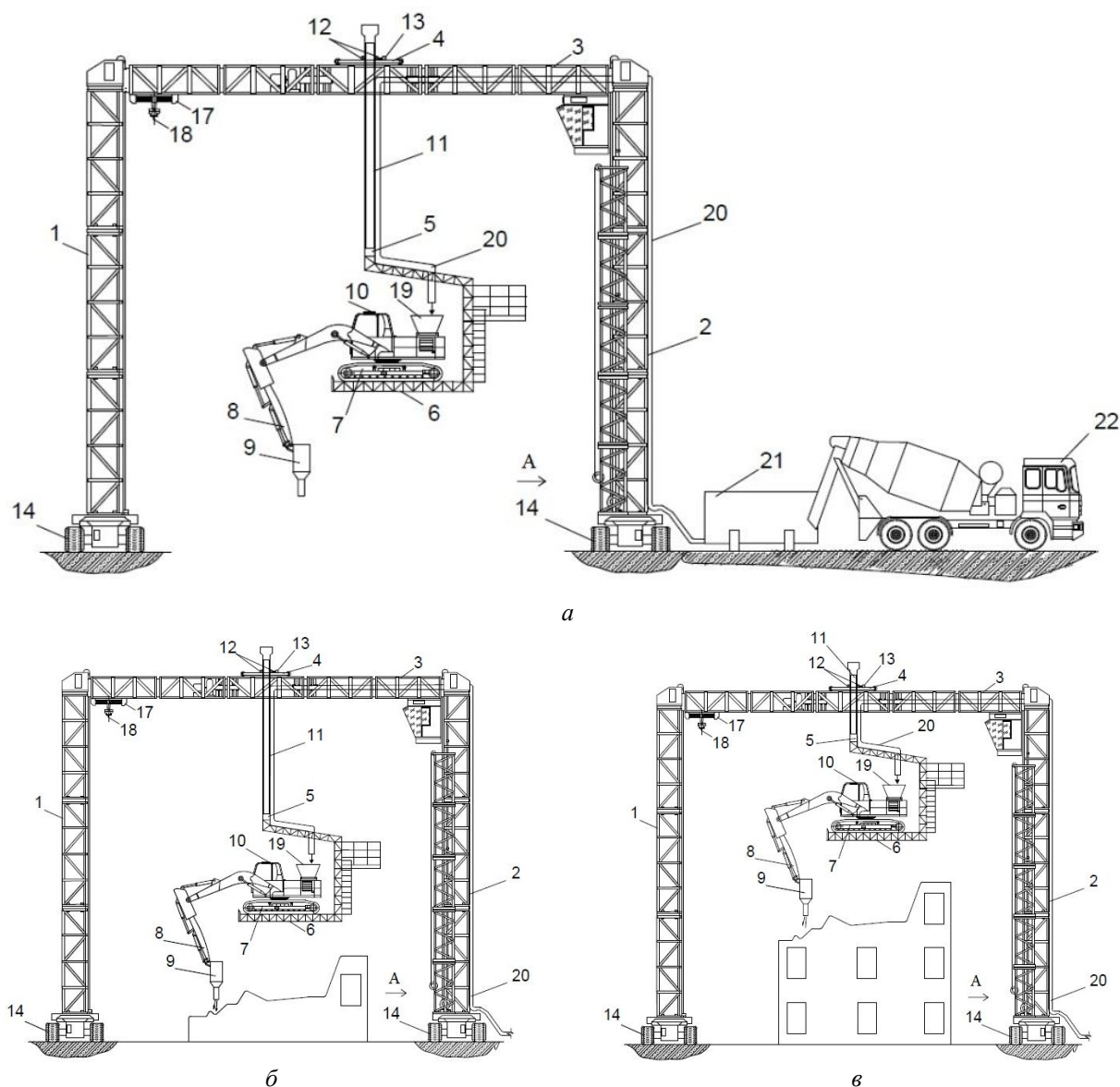


Рис. 4. Принтер, снабженный строительным манипулятором:

a – общий вид; *б, в* – этапы наращивания объекта; 1, 2 – опоры; 3 – мост; 4 – каретка; 5 – балка; 6 – платформа; 7 – манипулятор; 8 – телескопическое оборудование; 9 – печатающая головка; 10 – кабина; 11 – зубчатая рейка; 12 – шестерни; 13 – привод шестерен; 14 – гусеничные тележки; 17 – грузовая тележка; 18 – крюковая подвеска; 19 – приемный бункер; 20 – бетонопровод; 21 – бетононасос; 22 – миксер /

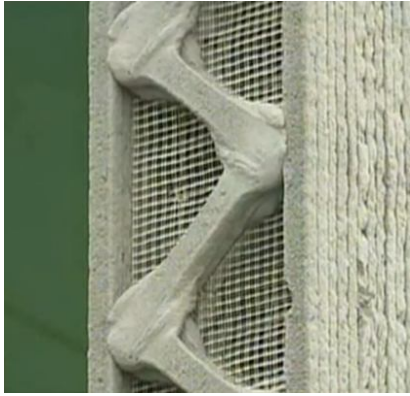
Printer, provided with a building manipulator:

a - is a general view; *б, в* - in are the stages of increase of object; 1, 2 - are supports; 3 - is a bridge; 4 - is a carriage; 5 - is a beam; 6 - is a platform; 7 - manipulator; 8 - is a telescopic equipment; 9 - is a plotting head; 10 - is a booth; 11 - is a rack-rail; 12 - cog-wheels; 13 - is a drive of cog-wheels; 14 - are caterpillar light carts; 17 - is a freight light cart; 18 - is a hook pendant; 19 - is a receiving bunker; 20 - is a concrete pipeline; 21 - is a concrete pump; 22 - is a mixer

В процесс создания готовых объектов задействованы минимально два человека: оператор (непосредственно управляет принтером) и рабочий (готовит смесь, армирует изделия в процессе печати, готовит оборудование к использованию в начале и конце смены). Количество рабочих зависит от размеров оборудования и сложности

технологического процесса, зависящего от конструктивных решений изготавливаемого объекта.

Повысить теплоизоляционные свойства объектов, созданных 3D-печатью, и снизить энергопотери предлагается укладкой в пустоты стеновых конструкций (рис. 5) теплоизоляционных экологических материалов (соломы, камыша) [1].



а



б

Рис. 5. Строительные конструкции армированные:
а – фиброволокном; б – перегородками /

*Building structure of reinforceding:
a – fiber; b – by partitions*

Процесс печати различными строительными смесями в основном отличается толщиной печатаемого слоя и общей высотой изделия. Толщину выдавливаемого слоя формирует экструдер. Во время печати корректируют геометрию выдавливаемого слоя, изменяют скорость печати для получения качественного изделия. Повысить качество печатания предлагается применением печатной головки с несколькими экструдерами, установленными на разных уровнях последовательно друг за другом [2; 12].

Выводы

1. Строительные 3D-принтеры – это оборудование нового поколения для возведения зданий и сооружений, а также элементов конструкций. Разнообразие строительной печатной техники открывает широкие возможности в строительной индустрии. На данном этапе конструкции принтеров позволяют создавать малоэтажные постройки различных конфигураций с применением разных строительных смесей.

2. Разработаны предложения по повышению теплоизоляционных свойств возводимых 3D-печатанием объектов и усовершенствованию технологического оборудования, применением строительных манипуляторов и перспективных головок экструдеров.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Легкие теплоизоляционные бетоны на основе соломы злаковых культур / А. Ю. Конопляник, Н. В. Савицкий, К. С. Собинова, Н. В. Новиченко, Дашнор Окса // Строительство, материаловедение, машиностроение. – Д.: 2014. – Вып. 75. – С. 102–105.
2. Патент України на корисну модель 108790, E04, 25.07.2016. Бюл. № 14.
3. Патент України на корисну модель 109807, E04, 12.09.2016. Бюл. № 17.
4. Принципы экологического индустриального строительства малоэтажных жилых зданий / Н. В. Савицкий, И. И. Куличенко, Е. Б. Бендерский, Н. В. Новиченко // Будівельні конструкції. – К.: 2013. – Вип. 77. – С. 72–76.
5. Теоретико-методологічні засади розробки проекту сучасного екоселення / І. І. Куличенко, М. В. Савицький, М. Г. Складановська, Ю. Б. Бендерський // Строительство, материаловедение, машиностроение. – Д.: 2013. – Вып. 68. – С. 203–210.
6. Эффективная конструктивно-технологическая система для строительства доступного жилья / Н. В. Савицкий, Н. В. Панченко, Ю. Г. Чумак, Б. А. Медгауз, В. А. Чернец // Строительство, материаловедение, машиностроение, - Д.: 2013. – Вып. 68. – С. 355–357.
7. «Contrucktion». MegaScale 3D Printing, Group 1 : Final Report, 11th January 2013 / Alwi A., Karayiannis S., Starkey B., Gardner M., Reodique K., Varley Th. ; Faculty of Engineering and Physical Sciences University of Surrey. – 2013. – 201 p. – Available at: <http://personal.ee.surrey.ac.uk/Personal/R.Webb/MDDP/2012/Report/3D%20Building%20Printer%20-%20Group%201.pdf>.
8. Khoshnevis B. Automated Construction by Contour Crafting-Related Robotics and Information Technologies / Behrokh Khoshnevis // Automation in Construction. – 2004. – Vol. 13, iss. 1. – P. 5–19. – Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580503000736>.
9. Lipson H. Fabricated. The New World of 3D Printing / Hod Lipson, Melba Kurman. – [Indiana]: Wiley, 2013. – 320 p.
10. Options of sustainable development of region's territory / M. V. Savytskyi, O. I. Bondarenko, M. M. Babenko, Yu. B. Benderskyi // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Д.: 2015. – № 4. – С. 157–161.
11. 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/>.
12. Savytskyi N. V., Shatov S. V., Ozhyshchenko O. A. 3D-printing of build objects // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Д.: 2016. - № 3. – С. 18–26.
13. Warszawski A. Implementation of Robotics in Building: Current Status and Future Prospects / Warszawski A., Navon R. // Journal of Construction Engineering and Management. – 1998. –Vol. 124, iss. 1. – P. 31–41. – Available at: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1998\)124:1\(31\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1998)124:1(31)).

REFERENCES

1. Konoplyanik A.Yu., Savitskii N.V., Sobinova N.V., Novichenko N.V. and Dashnor O. *Legkie teploizolyatsionnye betony na osnove solomy zlakovykh kul'tur* [Lightweight insulating concrete on the basis of straw cereals]. *Stroitel'stvo, materialovedenie, mashynostroenie* [Construction, materials science, mechanical engineering]. Dnepr, 2014, iss. 75, pp. 102–105. (in Russian).
2. Patent Ukrainy na korysnu model [Ukraine patent for utility model] 108790, E04, 25.07.2016. Biul.. no 14.
3. Patent Ukrainy na korysnu model [Ukraine patent for utility model] 109807, E04, 12.09.2016. Biul.. no 17.
4. Savitskii N.V., Kulichenko I.I., Benderskij E.B. and Novichenko N.V. *Printsipy ekologicheskogo industrial'nogo stroitel'stva maloetazhnykh zhilykh zdaniy* [The principles of ecological industrial building low-rise residential buildings]. *Budivelni konstruksii* [Building structures]. Kyiv, 2013, iss. 77, pp. 72–76. (in Ukrainian).
5. Kulichenko I.I., Savytskyi M.V., Skladanovska M.G., Benderskyj Yu.B. *Teoretyko-metodologichni zasady rozrobky proektu suchasnogo ekoposelennia* [Theoretical and methodological foundations of modern ecovillage development project]. *Stroitel'stvo, materialovedenie, mashynostroenie* [Construction, materials science, mechanical engineering]. Dnepr, 2013, iss. 68, pp. 203–210. (in Ukrainian).
6. Savitskii N.V., Panchenko N.V., Chumak Yu.G., Medgauz B.A. and Chernets V.A. *Effektivnaya konstruktivno-tekhnologicheskaya sistema dlya stroitel'stva dostupnogo zhil'ya* [Effective structural and technological system for affordable housing]. *Stroitel'stvo, materialovedenie, mashynostroenie* [Construction, materials science, mechanical engineering]. Dnepr, 2013, iss. 68, pp. 355–357. (in Ukrainian).
7. Alwi A., Karayiannis S., Starkey B., Gardner M., Reodique K. and Varley Th. *Conctrucktion. MegaScale 3D Printing. Group 1. Final Report, 11th January 2013*. Faculty of Engineering and Physical Sciences University of Surrey.. 201 p. Available at: <http://personal.ee.surrey.ac.uk/Personal/R.Webb/MDDP/2012/Report/3D%20Building%20Printer%20%20Group%201.pdf>.
8. Khoshnevis B. *Automated Construction by Contour Crafting-Related Robotics and Information Technologies. Automation in Construction*. 2004, vol. 13, iss. 1, pp. 5–19. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580503000736>.
9. Lipson H. and Kurman M. *Fabricated. The New World of 3D Printing*. Indiana: Wiley, 2013, 320 p.
10. Savytskyi M.V., Bondarenko O.I., Babenko M.M. and Benderskyi Yu.B. *Options of sustainable development of region's territory. Naukovyi visnyk Natsionalnogo hirnychoho universytetu* [Scientific bulletin of National Mining University]. Dnipr, 2015, no. 4, pp. 157–161.
11. Joop de Boer. *Which Architect Is Winning The 3D Printing Rat Race?. Pop-Up City*. 2014, 1 July. Available at: <http://popupcity.net/which-architect-is-winning-the-3d-printing-rat-race/>.
12. Savytskyi N. V., Shatov S. V., Ozhyshchenko O. A. *3D-pechatane stroitel'nich obektov* [3D-printing of build objects]. *Vesnik Pridneprovskoy dergavnoy akademiy stroitel'stva i architektury* [Bulletin of Pridneprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture]. – Dnepr, 2016.- no. 3. – pp. 18–26.
13. Warszawski A. and Navon R. *Implementation of Robotics in Building: Current Status and Future Prospects. Journal of Construction Engineering and Management*. 1998, vol. 124, iss. 1, pp. 31–41. Available at: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1998\)124:1\(31\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1998)124:1(31)).

Стаття рекомендована до друку 10.04.2017 р. Рецензент: д-р т. н., проф. Білоконь А.І.

Надійшла до редколегії: 18.04.2017 р. Прийнята до друку: 20.04.2017 р.