

УДК 69.003

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.230221.124.727

## ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНІ ПЕРЕВАГИ ПЕРЕХОДУ НА 3D-ДРУК БУДІВЕЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ У РУСЛІ INDUSTRY 4.0<sup>1</sup>

ШАТОВ С. В.<sup>1\*</sup>, *докт. техн. наук, доц.*,  
МАЦЕНКО О. М.<sup>2</sup>, *канд. екон. наук, доц.*,  
СКРИПКА Є. О.<sup>3</sup>, *студ.*,  
ДАНИЛЕНКО І. О.<sup>4</sup>, *студ.*

<sup>1\*</sup> Кафедра будівельних та дорожніх машин, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (056) 756-33-47, e-mail: [shatov.sv@ukr.net](mailto:shatov.sv@ukr.net), ORCID ID: 0000-0002-1697-2547

<sup>2</sup> Кафедра економіки, підприємництва та бізнес-адміністрування, Сумський державний університет, вул. Римського-Корсакова, 2, 40007, Суми, Україна, тел. +38 (066) 921-55-91, e-mail: [amatsenko@econ.sumdu.edu.ua](mailto:amatsenko@econ.sumdu.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-1806-2811

<sup>3</sup> Навчально-науковий інститут фінансів, економіки та менеджменту імені Олега Балацького, Сумський державний університет, вул. Римського-Корсакова, 2, 40007, Суми, Україна, тел. +38 (099) 754-90-59, e-mail: [skrypkasumy@gmail.com](mailto:skrypkasumy@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-0499-4597

<sup>4</sup> Факультет інформаційних технологій та механічної інженерії, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (097) 279-76-38, e-mail: [igor.danilenko.333@ukr.net](mailto:igor.danilenko.333@ukr.net), ORCID ID: 0000-0003-1055-1503

**Анотація.** *Постановка проблеми.* Високий рівень витрат, енергоємності та ресурсомісткості у галузі будівництва зумовлює проведення досліджень, спрямованих на підвищення економічної, соціальної та екологічної результативності процесів будівництва з позиції сучасних трендів інноваційного розвитку в руслі Industry 4.0. Особливо актуальними вважаються дослідження, адаптовані до умов національної економіки. *Мета статті* – дослідження напрямів розвитку технологій у будівельній сфері, зокрема, технології 3D-друку, визначення еколого-економічних переваг переходу на 3D-друк будівельних об'єктів у руслі Industry 4.0. *Результати.* Проведено дослідження напрямів розвитку технології 3D-друку, представлено та охарактеризовано види 3D-принтерів. Зроблено акцент на необхідності та перевагах оцінки та сертифікації енергоефективності будівель. Розглянуто переваги 3D-друку, до яких можна віднести поліпшення таких параметрів як екологічність, швидкість та доступність будівництва. Проведено оцінювання прибутковості та строку окупності організації будівельного бізнесу, що використовує 3D-принтинг як основний засіб будівництва. Встановлено, що питомі витрати на 1м<sup>2</sup> 3D-будівництва в умовах України складуть близько 4 тис. грн, а строк окупності інноваційного будівельного бізнесу на основі 3D-принтингу складає менше року. *Наукова новизна і практична значимість.* Уперше здійснено економічне оцінювання організації будівельного бізнесу, що використовує 3D-принтинг як основний засіб будівництва, в умовах економіки України. Результати дослідження будуть корисними для представників бізнесу у сфері будівництва, а також можуть бути використані для підготовки фахівців для будівельної галузі.

**Ключові слова:** 3D-друк; будівельна галузь; витрати; результативність; енергоефективність; Industry 4.0; технологія

## ECOLOGICAL AND ECONOMIC BENEFITS OF THE TRANSITION TO 3D PRINTING OF BUILDINGS IN THE ROUTE OF INDUSTRY 4.0<sup>1</sup>

SHATOV S.V.<sup>1\*</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,

<sup>1</sup> Статтю було підготовлено в рамках науково-дослідної роботи «Фундаментальні основи фазового переходу до адитивної економіки: від проривних технологій до інституційної соціологізації рішень». Публікація містить результати досліджень, проведених в рамках грантів Жана Моне (рівень кафедри) «Законодавчий, екологічний та соціальний перехід ЄС до сестейнового суспільства в межах Індустрій 4.0 та 5.0» (619997-EPP-1-2020-1-UA-EPPJMO-CHAIR) та «Економічна політика ЄС та громадянське суспільство» (619878-EPP-1-2020-1-UA-EPPJMO-CHAIR).

MATSENKO O.M.<sup>2</sup>, *Cand. Sc. (Economic), Assoc. Prof.*,  
SKRYPKA Yev.O.<sup>3</sup>, *Stud.*,  
DANYLENKO I.O.<sup>4</sup>, *Stud.*

<sup>1\*</sup> Department build and road wave, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-A, Chernyshevskoho Str., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (056) 756-33-47, e-mail: [shatov.sv@ukr.net](mailto:shatov.sv@ukr.net), ORCID ID: 0000-0002-1697-2547

<sup>2</sup> Department of Economics, Entrepreneurship and Business Administration, Sumy State University, 2, Rymskogo-Korsakova Str., 40007, Sumy, Ukraine, tel. +38 (066) 921-55-91, e-mail: [amatsenko@econ.sumdu.edu.ua](mailto:amatsenko@econ.sumdu.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-1806-2811

<sup>3</sup> Oleg Balatskyi Academic and Research Institute of Finance, Economics and Management, Sumy State University, 2, Rymskoho-Korsakova Str., 40007, Sumy, Ukraine, tel. +38 (099) 754-90-59, e-mail: [skrypkasumy@gmail.com](mailto:skrypkasumy@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-0499-4597

<sup>4</sup> Faculty of Information Technologies and Mechanical Engineering, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-A, Chernyshevskoho Str., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (097) 279-76-38, e-mail: [igor.danilenko.333@ukr.net](mailto:igor.danilenko.333@ukr.net), ORCID ID: 0000-0003-1055-1503

**Abstract. Problem statement.** The high level of costs, energy and resource intensity in the field of construction leads to research aimed at improving the economic, social and environmental performance of construction processes from the standpoint of current trends in innovation in line with Industry 4.0. Especially relevant are studies adapted to the conditions of the national economy. **The purpose of the article** is to research of directions of development of technologies in the construction sphere, in particular technologies of 3D-printing, definition of ecological and economic advantages of transition to 3D-printing of construction objects in line with Industry 4.0. **Results.** The research of directions of development of 3D-printing technology is carried out, the types of 3D-printers are presented and characterized. Emphasis is placed on the need and benefits of assessment and certification of energy efficiency of buildings. The advantages of 3D printing are considered, which include the improvement of such parameters as environmental friendliness, speed and accessibility of construction. An assessment of the profitability and payback period of the construction business organization, which uses 3D-printing as the primary means of construction. It is established that the specific costs per 1m<sup>2</sup> of 3D-construction in Ukraine will be about 4 thousand UAH, and the payback period of innovative construction business based on 3D-printing is less than a year. **Scientific novelty and practical significance.** For the first, an economic assessment of the construction business organization uses 3D printing as the primary means of construction, in the Ukrainian economy. The results of the study will be useful for business representatives in the field of construction, and can also be used in the training of specialists for the construction industry.

**Keywords:** 3D printing; construction industry; costs; efficiency; energy efficiency; Industry 4.0; technology

**Постановка проблеми.** У процесі будівництва відбувається перетворення сировини, використовується енергія, витрачається праця, час, але, разом із тим, здійснюється й негативний вплив на навколишнє середовище. Будівельна галузь характеризується як витратоємка та безперервно потребує споживання природних ресурсів і генерує чималий обсяг відходів, здійснює негативний вплив на людський капітал [1] через важку інтенсивну працю. Особливо через виробництво значних обсягів бетону будівельна галузь забруднює атмосферне повітря викидами пилу та CO<sub>2</sub>.

Таким чином, у разі переходу до Industry 4.0 [2–4] будівельна галузь потребує трансформації і модернізації, в основі яких має бути технологія автоматизованого будівництва за допомогою 3D-друку [5; 6].

**Аналіз публікацій.** Дослідженню еколого-економічної ефективності 3D-друку в будівництві приділяли увагу як зарубіжні, так і вітчизняні науковці, зокрема, Б. Хошневіс, Р. Даттон, І. Агусті-Хуан, Ф. Мюллер, Н. Хак, Т. Ванглер, Г. Хаберт, Д. Лоук, Е. Дини, А. Перро, Г. О. Андрощук, Д. Вегер, К. Гелен, Б. Дилленбургер, О. В. Кисіль, М. В. Савицький, які вивчали переваги 3D-друку в будівництві великих конструкцій, проводили дослідження складу бетону для 3D-друку та проблеми його використання, здійснювали еколого-економічне оцінювання життєвого циклу матеріалів для друку.

Проте недостатньо розкритими залишаються питання практичного впровадження технології 3D-друку в економіку будівництва, еколого-економічного оцінювання впливу цієї технології на навколишнє середовище.

Окремі аспекти менеджменту енергоефективності у будівництві досліджені нами раніше [7]. Загалом, питання 3D-друку до цього часу залишається актуальним та потребує подальшого вивчення, особливо в руслі реальних проблем будівельної галузі України.

**Мета статті** – дослідити еколого-економічні переваги використання 3D-друку в будівельній галузі України, провести порівняльний економічний аналіз між звичайним (стандартним) будівництвом та будівництвом за допомогою 3D-принтерів з урахуванням їх екологічності. Проведене дослідження має слугувати основою для підвищення еколого-економічної ефективності діяльності вітчизняних будівельних організацій, підвищення якості людського капіталу.

**Результати дослідження.** На разі галузь будівництва України можна охарактеризувати як таку, що поступово розвивається. Характерна особливість цього процесу – постійне удосконалення технологій, матеріалів та устаткування зведення будівель. Для успішного ведення бізнесу в будівельній сфері необхідно оптимізувати такі параметри як швидкість зведення будівель та якість виконаних робіт. Ці параметри результативності будівельної компанії допомагають їй забезпечувати високий рівень конкурентоспроможності.

Таблиця 1

**Індекси виробленої будівельної продукції (до відповідного періоду попереднього року) [8]**

Рік	2015	2016	2017	2018	2019
Будівлі	87,5	117,5	126,4	108,6	123,4
житлові	91,7	120,8	121,5	103,5	119,4
нежитлові	98,9	117,8	116,3	100,9	103,7
інженерні споруди	85,8	123,7	126,1	105,7	133,7

Однак на сьогоднішній день у галузі будівництва назріває кризовий стан. Зважаючи на те, що у 2019 р. спостерігалось зростання за всіма видами будівництва порівнянно з 2018 р. (табл. 1), а середня заробітна плата на будівельному майданчику в цілому по Україні станом на листопад становила 9 554 грн,

заборгованість із виплати заробітної плати працівникам будівельної галузі становила 63,7 млн грн. Загальна заборгованість порівнянно з 01.01.2019 р. зменшилась на 8 млн 436 тис. грн (11,7 %) [8].

Позитивна динаміка приведених індексів (табл. 1) базується на традиційних технологіях будівництва, які на сучасному технологічному етапі розвитку людства можна вважати застарілими та такими, що потребують великих капіталовкладень для зведення житла.

До того ж, проблему перспективного зростання будівельної галузі загострює той факт, що будівельні компанії під час зведення будівель не приділяють належної уваги їх енергоефективності. Це зумовлює недоотримання можливої доданої вартості на ринку нерухомості будівельними компаніями та можливої доданої цінності власниками житла, які ще й зазнають значних поточних фінансових втрат. Адже більшість новозведених будинків в Україні не мають сертифіката енергоефективності. Забудовники не цікавлять, скільки коштів витрачається марно на опалення та вентиляцію будинку, а покупці нерухомості не можуть зорієнтуватися в тому, скільки коштів їм доведеться сплатити за комунальні послуги у майбутніх періодах.

У країнах ЄС ці питання вже врегульовані відповідними законами. З появою директиви EPBD енергетична сертифікація будівель у країнах ЄС стала обов'язковою, а оцінювання енергоефективності будівель стало обов'язковим для проєктувальників. У таких країнах як Бельгія, Австрія, Німеччина та Іспанія розрахунки енергоефективності житлових споруд проводять лише ліцензовані фахівці, за спеціальними класами ефективності. Клас енергоефективності фіксується в технічному паспорті будівлі та дає чітке розуміння про рівень енергоспоживання будинку. Наочний приклад класів енергетичної ефективності показують австрійські нормативи вимог (табл. 2), які умовно можна поділити на п'ять категорій.

Наведені в таблиці 2 класи енергоефективності можна взяти за основу для сертифікації будинків в Україні.

Відсутність маркування класів енергетичної ефективності будівель та при цьому їх висока вартість на тлі пандемії та фінансової кризи в Україні змушує пересічних громадян все частіше відмовлятися від придбання нерухомості, що в перспективі може спричинити швидкий занепад будівельної галузі. Так, за даними Державної служби статистики України, внесок будівельної галузі у ВВП у 2019 році склав лише 2,3 %. Для порівняння, цей показник у Словаччині становить 7,9 %, Польщі – 7,7 %, Швеції – 6,8 %, Румунії – 6,1 % [9]. Тож, як бачимо, будівельна галузь України має значний потенціал та широкі можливості у розвитку.

Таблиця 2

**Маркування класів енергетичної ефективності будівель в Австрії**

Клас енерго-ефективності	Енергоспоживання, кВт·год/м <sup>2</sup>	Характеристика
A++ A+	не більше 10...15	стандарт пасивного будинку
A	не більше 25	будинок з ультра низьким енергоспоживанням
B	не більше 50	будинок з низьким енергоспоживанням
C	не більше 100	будинок, що відповідає будівельним нормам і правилам
D E F G	150...250 і більше	старі будівлі, які не пройшли санацію

Сьогодні провідні будівельні компанії світу мають можливість зводити житлові будинки за декілька днів і вже не приховують технологій будівництва та навіть діляться ними. Так, останніми роками стрімкими темпами почала набирати оберті технологія 3D-друку житлових будинків.

Технологія 3D-друку починає широко використовуватися не лише у будівництві, а й в інших сферах, включаючи енергетику, біотехнології, медичні пристрої тощо.

У будівництві як основний компонент для 3D-друку можна використовувати целюлозу – стійку і практично невичерпну полімерну сировину, потенціал для задоволення зростаючого попиту на екологічно чисті продукти. Целюлозні волокна мають переваги, зумовлені широкою доступністю, низькою вартістю та високою гнучкістю [10].

На разі існують два підходи до будівництва за допомогою 3D-принтерів. За першим принтер розташований на будівельному майданчику і процес зведення відбувається пошаровим нанесенням бетонної суміші відповідно до проекту. А за другим - об'ємні елементи друкуються в заводських умовах і доставляються на майданчик, де монтуються традиційними методами будівництва [11].

Також є дві основні відмінності будівельного 3D-принтера від аналогів, які застосовуються в інших галузях.

По-перше, розміри тривимірного будівельного принтера можуть коливатися, залежно від масштабу об'єкта будівництва, і бути порівняними з розміром невеликого вантажного автомобіля або досягати габаритів потужного автокрана.

По-друге, в будівельному 3D-принтері як основний матеріал використовується бетонна пластична суміш, подачу якої забезпечує головка принтера. За допомогою високоточної роботи цієї головки – головної деталі принтера – зводяться різного роду елементи: фундаменти, стіни, сходи, технологічні отвори для інженерних комунікацій [12].

Самі будівельні 3D-принтери відрізняються своїми конструкціями та методами зведення стін. Найбільш поширеними принтерами стали конструкції з двома та чотирма опорами (рис.), так звані козлові принтери. Таке обладнання дозволяє створювати архітектурні форми та елементи конструкцій для їх подальшого складання на місці, або дозволяє друкувати будівлю в цілому на будівельному майданчику. Висота та розміри будівлі для друку залежать від технічних характеристик принтера, що використовується.

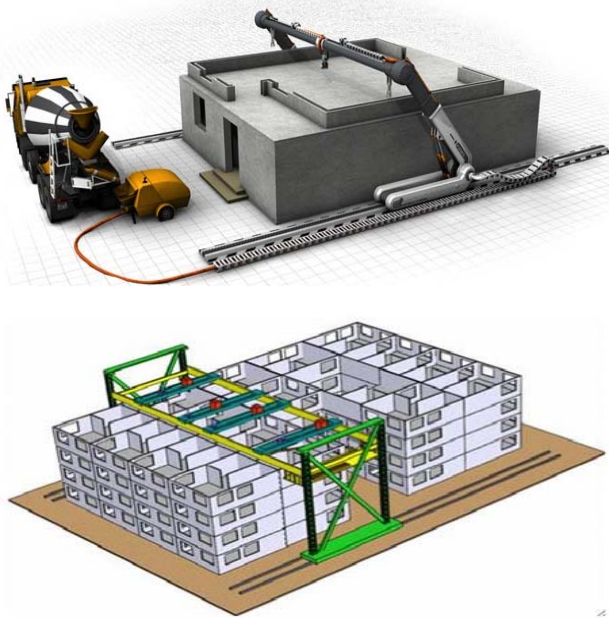


Рис. Конструкції 3D-принтерів із двома та чотирма опорами

Різні принтери для 3D-друку будівель працюють із різними будівельними матеріалами та на різному програмному забезпеченні. Однак принцип роботи у них дуже схожий: екструдер видавлює швидкотвердну речовину, як правило, це бетонна суміш із різними добавками. Кожен наступний шар наноситься на попередній, завдяки чому утворюється вертикальна структура.

Накладені один на один шари ущільнюються, тим самим збільшуючи здатність витримувати наступні шари бетонної суміші, а, отже, і всю вагу конструкції. Для зміцнення конструкції виконується її армування, яке може бути як вертикальним, так і горизонтальним. Горизонтальний арматурний пояс прокладається між шарами, вертикальний арматурний монтаж встановлюється в кінці затвердіння складу, а потім заливається бетоном.

До переваг 3D-друку можна віднести поліпшення таких параметрів:

1) *Екологічність*. За допомогою 3D-друку можна зводити будівлі з екологічно чистих матеріалів. Більше того, деякі 3D-принтери використовують сонячну

енергію для спорудження будинків і викидають дуже мало CO<sub>2</sub>.

2) *Швидкість*. На основі 3D-друку вдалося звести будинок площею 38 м<sup>2</sup> лише за 24 години машинного часу, інші роботи – установка, покрівля, встановлення вікон, внутрішня і зовнішня обробка – близько трьох тижнів.

У результаті було побудовано повноцінний одноповерховий будинок із вітальнею, кухнею, санвузлом, системами опалення та електропостачанням. Бетонна суміш, з якої зроблений будинок, може служити до 175 років [13].

3) *Доступність*. 3D-принтери для зведення будинків можуть бути використані для реалізації програми «Доступне житло», для надання допомоги малозабезпеченим людям або постраждалим у результаті стихійних лих.

Собівартість «друкованого» будинку під ключ площею 38 м<sup>2</sup>, за даними компанії Aris Cor, складає 8 115 дол. США, або 218 дол. США/м<sup>2</sup>. Для порівняння, за традиційної технології будівництва тільки на будівельно-монтажні роботи для звичайного таунхаусу піде 396 дол. США/м<sup>2</sup>, а з урахуванням вартості дизайну, чорнової обробки, інженерії та ін. – до 464,83 дол. США/м<sup>2</sup>. Тобто 3D-друк будівель удвічі вигідніший за традиційну технологію їх зведення [14].

У таблиці 3 наведено SWOT-аналіз та розрахунок витрат на створення та діяльність будівельної компанії, котра як основний засіб будівництва використовує 3D-принтер.

SWOT-аналіз наочно демонструє всі переваги та недоліки використання 3D-принтера в будівництві. Перелік переваг вказує на доцільність оцінити основні фінансові показники використання 3D-друку будівельною компанією.

У таблиці 4 наведено необхідний штат працівників для оптимальної роботи та обслуговування 3D-друку, а також їх заробітна плата.

Таблиця 3

## SWOT-аналіз використання 3D-принтера

Сильні сторони	Слабкі сторони
Порівняно просто керувати будівництвом об'єкта. Залучення меншої кількості працівників. Відносно низька вартість зведення житла. Висока швидкість зведення. Довговічність надрукованої будівлі. Будівництво не прив'язане до певних геометричних та архітектурних норм.	Друк будинків обмеженої площі. Постійний контроль оператора. Відносно висока вартість принтера. Друк будинків за низьких температур тягне за собою збільшення витрат на будівництво.
Можливості	Загрози
Можливість будувати високоповерхові будівлі. Можливість друку будинків з екологічних матеріалів.	У разі збою програми або хакерської атаки може зупинитися будівництво на невизначений строк, що тягне за собою значні збитки для компанії.

Таблиця 4

## Визначення витрат на заробітну плату будівельної компанії, яка експлуатує 3D-принтер

Персонал	Кількість робітників, осіб	Щомісячні витрати на заробітну плату, грн
Директор	1	12 500
Оператор-механік	2	30 000
Водій	1	9 000
Охоронець	1	7 000
У цілому	5	58 500

Далі необхідно визначити одноразові витрати на організацію компанії (табл. 5).

Таблиця 5

## Початкові інвестиції для відкриття будівельного бізнесу на основі 3D-принтингу

Стаття витрат	Сума інвестицій, тис. грн
Реєстрація компанії	50
Створення сайту	10
Придбання 3D-принтера та обладнання	616
Автомобіль для перевезення принтера	200
Інші витрати	25
Разом	901

Більшу частину витрат на відкриття будівельного бізнесу складе придбання 3D-принтера та автомобіля для перевезення.

Оцінимо орієнтовні місячні поточні витрати (табл. 6) на зведення одноповерхового будинку площею в 100 м<sup>2</sup> за 1 місяць 3D-принтером Vector 110-110-2 3D.

Таблиця 6

## Поточні витрати будівельної компанії на місяць, тис. грн

Стаття витрат	Оцінка	Сума
Заробітна плата	58,5	58,5
Будівельний матеріал для 3D-друку: екологічний бетон (3 грн/кг) та армувальна сітка (50 тис. грн)	Для коробки будинку з перекриттям у 100 м <sup>2</sup> необхідно 68 т бетону (3*68 + 50)	254,0
Податок за 3-ю групою ФОП (5 % від доходу)	50,0	50,0
Електроенергія для живлення принтера та допоміжного обладнання	12,5 кВт*год× ×24 год× 1,68 грн/кВт*год× ×30 днів	15,12
Інші витрати	15,0	15,0
Усього		392,62

З урахуванням поточних витрат та середньої рентабельності близько 25 % річний прибуток компанії, що використовує 3D-принтер, складе 1 178 тис. грн. Строк окупності інвестицій в бізнес складе не більше 10 місяців.

Соціальний ефект друкованих будинків - доступ до комфортабельних та дешевих помешкань. Економічний ефект - це зменшення витрат на будівництво, економія коштів на утримання будинку.

**Висновки.** 3D-друк будівель має значні перспективи для розвитку будівельної галузі України. Для забудовників ця технологія стане новим методом швидкого та дешевого зведення будівель. Раніше подібна швидкість будівництва могла досягатися лише завдяки збільшенню чисельності працюючих робітників на об'єкті, що, у свою чергу, зумовлювало збільшення вартості будинку.

За нашими підрахунками, питомі витрати на 1 м<sup>2</sup> 3D-будівництва складуть в Україні близько 4 тис. грн.

Із розвитком технології 3D-друку швидкість і якість будівництва – зростати. витрати на неї будуть знижуватися, а

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Tarkhov P. V., Matsenko A. M., Krugliak, A. P., Derkach Z. V. Provision of integrity and reliability in hygienic examination of investment projects for human capital development. *Гигиена и санитария*. 2012. № 5. Pp. 91–94. URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/74619>
2. Мельник Л. Г., Маценко А. М., Дегтярева И. Б., Кубатко А. В. Промышленные революции : учеб. пособ. Сумы : ИТД «Университетская книга», 2017. 160 с. URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/74779>
3. Melnyk L., Matsenko O., Dehtyarova I., Derykolenko O. The formation of the digital society : social and humanitarian aspects. *Digital economy and digital society*. Т. Nestorenko & M. Wierzbik-Strońska (Ed.). Katowice : Katowice School of Technology, 2019. Pp. 71–77. URL: <http://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/74570>
4. Мельник Л. Г. та ін. Позитивні ефекти проривних технологій. Проривні технології в економіці і бізнесі (досвід ЄС та практика України у світлі III, IV і V промислових революцій) : навч. посіб.; за ред. Л. Г. Мельника та Б. Л. Ковальова. Суми : Сумський державний університет, 2020. С. 18–23. URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/80619>
5. Архітектурно-конструктивно-технологічна система 3D-друку будівельних об'єктів : колективна монографія. За заг. ред. М. В. Савицького. Дніпро : ФОП Удовиченко О. М., 2019. 233 с.
6. Savytskyi N. V., Shatov S. V., Ozhyshchenko O. A. 3D-printing of build objects. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2016. № 3. С. 18–26.
7. Дериколєнко О. М., Маценко О. М., Скрипка Є. О. Економічні основи формування менеджменту енергоефективності житлового сектору. *Сучасні тренди розвитку урбанізованих територій* : матер. міжнар. наук.-практ. конф., 22–24 травня 2019 р. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекєтова, 2019. С. 93–94. URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/80407>
8. Розвиток будівельної галузі та детінізація ринку праці у будівництві. URL: <https://www.minregion.gov.ua/press/news/rozvitok-budivelnoyi-galuzi-ta-detinizatsiya-rinku-pratsi-u-budivnitstvi>
9. Державна служба статистики. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>
10. Мельник Л. Г., Маценко О. М. Інноваційний досвід підприємств у сфері енергозбереження : енергетика, будівництво, транспорт, агропромисловість. Управління енергоспоживанням: промисловість і соціальна сфера : монографія. Під заг. редакцією О. М. Теліженка та М. І. Сотника. Суми : видавничо-виробниче підприємство «Мрія-1», 2018. С. 106–140. URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/77293>
11. Dai L., Cheng T., Duan C. та ін. 3D-printing using plant-derived cellulose and its derivatives : a review. Elsevier Ltd, 2019. Pp. 71–86. URL: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.09.027>
12. Андрійчук О. В., Оласюк П. Я. Застосування технології 3D-друку в будівництві. *Сучасні технології та методи розрахунку в будівництві*. 2015. Вип. 3. С. 11–18.
13. Про застосування 3D технологій у будівництві. URL: <http://www.n-zodchie.com/ua/articles/pro-zastosuvannya-3d-tehnologiy-u-budivnyitstvi.html>
14. Левинская А. Стройка 3D. URL: <https://www.rbc.ru/magazine/2017/06/592567559a7947e1bb4b7ea9>

### REFERENCES

1. Tarkhov P.V., Matsenko A.M., Krugliak A.P. and Derkach Z.V. Provision of integrity and reliability in hygienic examination of investment projects for human capital development. *Gigiiena i sanitariia* [Hygiene and sanitation]. 2012, 5, pp. 91–94. (in Russian). URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/74619>
2. Melnyk L.H., Matsenko A.M., Dehtyarova I.B. and Kubatko A.V. *Promyishlennyye revolyutsii* [Industrial revolutions]. Textbook. Sumy : “Universitetskaya kniga”, 2017, 160 p. (in Russian). URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/74779>
3. Melnyk L., Matsenko O., Dehtyarova I. and Derykolenko O. The formation of the digital society : social and humanitarian aspects. *Digital economy and digital society*. Т. Nestorenko & M. Wierzbik-Strońska (Ed.). Katowice : Katowice School of Technology, 2019, pp. 71–77. URL: <http://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/74570>
4. Melnyk L.H. and oth. *Pozytyvni efekty proryvnykh tekhnolohiy. Proryvni tekhnolohiyi v ekonomitsi i biznesi (dosvid YES ta praktyka Ukrainy u svitli III, IV i V promyslovykh revolyutsiy)* [Positive effects of breakthrough technologies. Breakthrough technologies in economics and business (EU experience and practice of Ukraine in the light of III, IV and V industrial revolutions)]. Textbook. Ed. by L.H. Melnyk and B.L. Kovalov. Sumy : Sumy State University, 2020, pp. 18–23. (in Ukrainian). URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/80619>
5. *Architekturno-constructivno-technologishna sistema 3D-druku budivelnich obektiv: Kolektivna monografiya* [Architectural-constructive-technological system of 3D-printing of construction objects: collective monograph]. Edited by Savytskyi M.V. Dnipro : FOP Udovichenko O. M., 2019, 233 p. (in Ukrainian)
6. Savytskyi N.V., Shatov S.V. and Ozhyshchenko O.A. 3D-printing of build objects. *Visnyk Pridneprovskoy*

*dergavnoy akademiy stroitelstva i architecture* [Bulletin of Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2016, no. 3, pp. 18–26.

7. Derykolenko O.M., Matsenko O.M. and Skrypka Ye.O. *Ekonomichni osnovy formuvannia menedzhmentu enerhoefektyvnosti zhytlovoho sektoru* [Economic bases of energy efficiency management of the housing sector]. *Suchasni trendy rozvytku urbanizovanykh terytorii* [Current trends in the development of urban areas]. Materials intern. scientific-practical conf., May 22–24, 2019, Kharkiv: O.M. Beketov NUUE, 2019, pp. 93–94. (in Ukrainian). URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/80407>

8. *Rozvytok budivelnoi haluzi ta detinizatsiia rynku pratsi u budivnytstvi* [Development of the construction industry and de-shadowing of the labor market in construction]. (in Ukrainian) URL: <https://www.minregion.gov.ua/press/news/rozvitok-budivelnoyi-galuzi-ta-detinizatsiya-rinku-pratsi-u-budivnytstvi>

9. *Derzhavna sluzhba statystyky* [State Statistics Service of Ukraine]. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>

10. Melnyk L.H. and Matsenko O.M. *Innovatsiinyi dosvid pidpriemstv u sferi enerhozberezhennia: enerhetyka, budivnytstvo, transport, ahrovyrobnytstvo* [Innovative experience of enterprises in the field of energy saving: energy, construction, transport, agricultural production]. *Upravlinnia enerhospozhyvanniam : promyslovisht i sotsialna sfera* [Energy management : industry and social sphere]. Monograph. Ed. by O.M. Telizhenko and M.I. Sotnyk. Sumy : Publishing and Production Enterprise “Mriya-1”, 2018, pp. 106–140. (in Ukrainian). URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/77293>

11. Dai L., Cheng T., Duan C. and oth. 3D printing using plant-derived cellulose and its derivatives: a review. Elsevier Ltd, 2019, pp. 71–86. URL: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.09.027>

12. Andriichuk O.V. and Olasiuk P.Ya. *Zastosuvannia Tekhnolohii 3D-Druku V Budivnytstvi* [Application of 3D printing technology in construction]. *Suchasni tekhnolohii ta metody rozrakhunku v budivnytstvi* [Modern technologies and methods of calculation in construction]. 2015, iss. 3, pp. 11–18. (in Ukrainian).

13. *Pro zastosuvannia 3D tekhnolohii u budivnytstvi* [About application of 3D technologies in construction] (in Ukrainian). URL: <http://www.n-zodchie.com/ua/articles/pro-zastosuvannya-3d-tehnologiy-u-budivnytstvi.html>

14. Levinskaya A. *Stroyka 3D* [Building 3D]. (in Russian). URL: <https://www.rbc.ru/magazine/2017/06/592567559a7947e1bb4b7ea9>

Надійшла до редакції: 22.01.2021