

*Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет*

**КАФЕДРА ЕКОНОМІКИ, ПІДПРИЄМНИЦТВА
ТА БІЗНЕС-АДМІНІСТРУВАННЯ**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

*Тема: Економічна ефективність застосування 3D-друку в будівництві:
оптимізація витрат виробника і споживача*

*Спеціальність 051 «Економіка»
Освітня програма 6.051.00.06 «Економіка і бізнес»*

Завідувач кафедри: _____ / О.І. Карінцева /

Керівник роботи: _____ / Л.Г.Мельник /

*Виконавець: _____ / Є.О. Скрипка /
П.І.Б.*

*Група: _____ / Е-71 /
шифр*

Суми 2021

АНОТАЦІЯ

Загальна характеристика роботи: загальний обсяг основного тексту складає 40 сторінок, серед них 14 рисунків, 7 таблиць та 46 бібліографічних найменувань.

Об'єктом дослідження у роботі є технологія 3D-друку, як метод заощадливого зведення житла у будівельній галузі.

Предметом дослідження є економічного ефекту від впровадження технології 3D-друку до будівельної галузі України.

Метою роботи є дослідження економічних ефектів для приватних будівельних підприємств від впровадження технології 3D-друку. Реалізація мети роботи обумовила необхідність вирішення таких основних завдань:

- проаналізувати сутність та роль технології 3D-друку у будівельній галузі;
- дослідити стан та динаміку економічних відносин у процесах 3D-друку в будівельній галузі;
- провести оцінку витрат та економічної вигоди використання технології 3D-друку для будівельного підприємства.
- визначити економічний ефект використання технології 3D-друку.

Використовуються загальнонаукові **методи**: аналізу – для визначення стану будівельної галузі України, методи формально-логічного аналізу – для дослідження світового досвіду використання технології 3D-друку, порівняння – для виявлення сильних і слабких сторін технології 3D-друку.

У першому розділі даної роботи було проаналізовано сучасний стан будівельної галузі України та її основні економічні показники. Встановлено основні перепони на шляху до розвитку будівельної галузі а також виокремлено основні економічні передумови підвищення ефективності будівництва, шляхом впровадження інноваційних технологій до будівельної галузі у руслі Industry 4.0 [9, 11, 14, 25, 37].

У другому розділі було досліджено сутність та роль технології 3D-друку у будівельній галузі, що дало змогу проаналізувати світовий досвід використання

технології 3D-руку при зведенні житлових споруд та оцінити економічну доцільність використання технології 3D-друку у будівництві за допомогою проведення SWOT – Аналізу.

В третьому розділі було розраховано суму інвестицій для організації будівельного підприємства, що в основі своєї діяльності використовує 3D-принтер, як основний засіб виробництва, а також розраховано строк окупності даного проекту. Також було проаналізовано переваги використання даної технології забудовником для споживача, та розраховано загальноекономічний ефект для будівельної галузі України від переходу на технологію 3D-друку.

Наукова новизна роботи. Вперше проведено розрахунок потенційного зниження витрат на зведення житла, за рахунок масового впровадження технології 3D-руку, що був проведений на основі кривої досвіду.

Ключові слова: 3D-друк, будівництво, підприємство, вартість, адитивні технології, міцність, надійність, реконструкція, технології.

SUMMARY

General characteristics of the work: the total volume of the main text is 40 pages, including 14 figures, 7 tables and 46 bibliographic titles.

The object of research in this work is the technology of 3D printing, as a method of cost-effective housing in the construction industry.

The subject of the study is the economic effect of the introduction of 3D printing technology in the construction industry of Ukraine.

The purpose of the work is to study the economic effects for private construction companies from the introduction of 3D printing technology. Realization of the purpose of work has caused necessity of the decision of the following **basic tasks**:

- to analyze the essence and role of 3D-hand technology in the construction industry;
- to study the dignity and dynamics of economic relations in the processes of 3D printing in the construction industry;
- assess the costs and economic benefits of using 3D printing technology for a construction company.
- to determine the economic effect of using 3D printing technology.

General scientific **methods** are used: analysis - to determine the state of the construction industry of Ukraine, methods of formal-logical analysis - to study the world experience of using 3D-printing technology, comparison - to identify strengths and weaknesses of 3D-printing technology.

In the first section of this work the current state of the construction industry of Ukraine and its main economic indicators were analyzed. The main obstacles to the development of the construction industry are identified, as well as the main economic prerequisites for improving the efficiency of construction by introducing innovative technologies to the construction industry in line with Industry 4.0

The second section explored the nature and role of 3D-hand technology in the construction industry, which allowed to analyze the world experience of using 3D-

hand technology in the construction of residential buildings and assess the economic feasibility of using 3D-printing technology in construction using SWOT - Analysis.

In the third section, the amount of investment for the organization of the construction company, which uses a 3D printer as the main means of production, was calculated, and the payback period of this project was calculated. The advantages of using this technology by the developer for the consumer were also analyzed, and the general economic effect for the construction industry of Ukraine from the transition to 3D-printing technology was calculated.

Scientific novelty of the work. For the first time, the calculation of the potential reduction in the cost of housing construction, due to the mass introduction of 3D-hand technology, which was carried out on the basis of the experience curve.

Keywords: 3D printing, construction, enterprise, cost, additive technologies, durability, reliability, reconstruction, technologies.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ РОЗВИТКУ ГАЛУЗІ БУДІВНИЦТВА	9
1.1 Будівельна галузь, як індикатор економічного розвитку країни.....	9
1.2 Проблеми енергоефективності житлового сектору для споживача при виборі житла.....	11
1.3 Економічні передумови впровадження інноваційних технологій до будівельної галузі у руслі Industry 4.0.....	15
РОЗДІЛ 2. АДИТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ У СВІТОВІЙ ПРАКТИЦІ ЗВЕДЕННЯ ЖИТЛА.....	17
2.1 Сутність та роль технології 3D-руку у будівельній галузі.....	17
2.2 Світовий досвід використання технології 3D-руку при зведенні житлових споруд.....	19
2.3 Оцінка економічної доцільності використання технології 3D-друку у будівництві.....	21
РОЗДІЛ 3. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ 3D- ДРУКУ У ГАЛУЗІ БУДІВНИЦТВА.....	27
3.1 Підвищення економічної ефективності підприємства на основі впровадження технології 3D-друку.....	27
3.2 Економічна ефективність використання технології 3D-друку для будівельного підприємства.....	29
3.3 Економічна ефективність використання технології 3D-друку забудовником для споживача.....	31
ВИСНОВКИ.....	33
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	35

Вступ

Будівництво є невід’ємною складовою економіки кожної країни світу. Тому, як правило, даній галузі приділяється значна увага з боку держави, приватних комерційних компаній, та науково дослідних інститутів, що сприяють динамічному розвитку даної галузі. Тому перед нами постало питання дослідження інноваційних технологій у будівництві та перш за все екологічної спрямованості [8, 26, 31, 39, 40, 41, 46]. Однією з таких технологій, стала технологія зведення житлових споруд за допомогою 3D-друку, яку почали масово брати на озброєння передові країни світу. Однак в Україні дана технологія поки не представлена. Тому дана робота була направлена на дослідження економічної доцільності впровадження, 3D-друку у галузь будівництва, що обумовило мету роботи [15, 17, 42, 43].

Метою роботи є дослідження економічних ефектів для приватних будівельних підприємств від впровадження технології 3D-друку. Реалізація мети роботи обумовила необхідність вирішення таких основних завдань:

- проаналізувати сутність та роль технології 3D-друку у будівельній галузі;
- дослідити стан та динаміку економічних відносин у процесах 3D-друку в будівельній галузі;
- провести оцінку витрат та економічної вигоди використання технології 3D-друку для будівельного підприємства.
- визначити економічний ефект використання технології 3D-друку.

Кваліфікаційна робота написана на основі досліджень автором теми впровадження 3D-друку до будівельної галузі України а також економічної ефективності зведення будівель за допомогою технології 3D-друку. Результати даних досліджень протягом періоду навчання студента набули форми наукових праць та були опубліковані:

- Шатов С. В., Маценко О. М., Скрипка Є. О., Даниленко І. О. Еколого-економічні переваги переходу на 3d-друк будівельних об’єктів у руслі industry 4.0. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2021. №1. С. 124 – 132.

- Всеукраїнському конкурсі студентських наукових робіт за напрямом «Економіка будівництва» 2020/2021н.р., назва роботи: «Економічне обґрунтування застосування технології 3D-друку у галузі будівництва» (Придніпровська державна академія будівництва та архітектури; 1 місце)
- Міжнародному конкурсі студентських наукових робіт за спеціальністю «економіка» 2020/2021 н.р., назва роботи «Socio-economic impact of 3D printing in construction» (Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського; 2 місце)

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ РОЗВИТКУ ГАЛУЗІ БУДІВНИЦТВА

1.1 Будівельна галузь, як індикатор економічного розвитку країни

Сучасну будівельну галузь України можна охарактеризувати, як галузь, що відносно динамічно розвивається. Свідченням цього є постійний розвиток та удосконалення технологій будівництва, а також підвищення кваліфікації штатного персоналу. Розвиток технологій будівництва потрібен, перш за все, для успішного ведення підприємницької діяльності в будівельній галузі, підвищення швидкості зведення житлових споруд забудовником, а також для підвищення якості виконаних робіт. Дотримання принципів постійного удосконалення результативності будівельних процесів допомагає підтримувати високий рівень конкурентоспроможності будівельних підприємств [24].

Однак, на даний момент можна констатувати, що у будівельній галузі спостерігається кризова ситуація. Так, якщо ми поглянемо на основні економічні показники будівельної галузі, можемо спостерігати, що у 2020 році прослідковується тенденція зниження виробленої будівельної продукції за всіма її видами у порівнянні з 2019 р. (рис. 1.1), а середня заробітна плата на будівельному майданчику в цілому по Україні станом на листопад місяць становила лише 9 554 грн. При цьому заборгованість з виплати заробітної платні робітникам будівельної галузі зросла до 63,7 млн грн (Розвиток, 2020).

Відсутність стрімкого зростання індексів виробленої будівельної продукції (рис. 1.1) пов'язана переважно з тим, що будівництво відбувається на основі традиційних технологій будівництва, які на сучасному технологічному етапі розвитку людства можна вважати застарілими та такими, що потребують великих капіталовкладень для зведення житла. Стрімке падіння індексів виробленої будівельної продукції у 2020 р. до рівня 2015 р. було підсилено пандемією Covid-19.

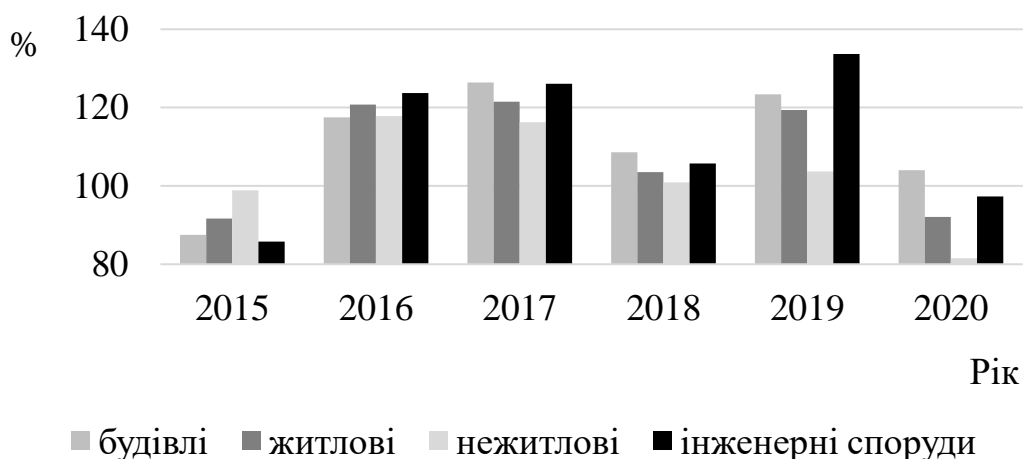


Рисунок 1.1 – Динаміка індексів виробленої будівельної продукції до відповідного періоду попереднього року (побудовано авторами на основі даних Державна, 2021)

Основна частина видатків у галузі будівництва йде на закупівлю будівельних матеріалів, які постійно зростають в ціні, що в свою чергу обумовлює постійне зростання вартості житла. Щоб утримати існуючий рівень рентабельності зведення житла, будівельні компанії вимушені періодично підвищувати вартість готового житла, що в результаті негативно впливає на попит з боку покупців та веде до зниження прийнятих в експлуатацію житлових площ. На рис. 1.2 представлена динаміка загальної площі житлових будівель, прийнятих в експлуатацію на 1000 осіб населення, яка ілюструє скоріше відносну стаціонарність динаміки, ніж явно помітне зростання.

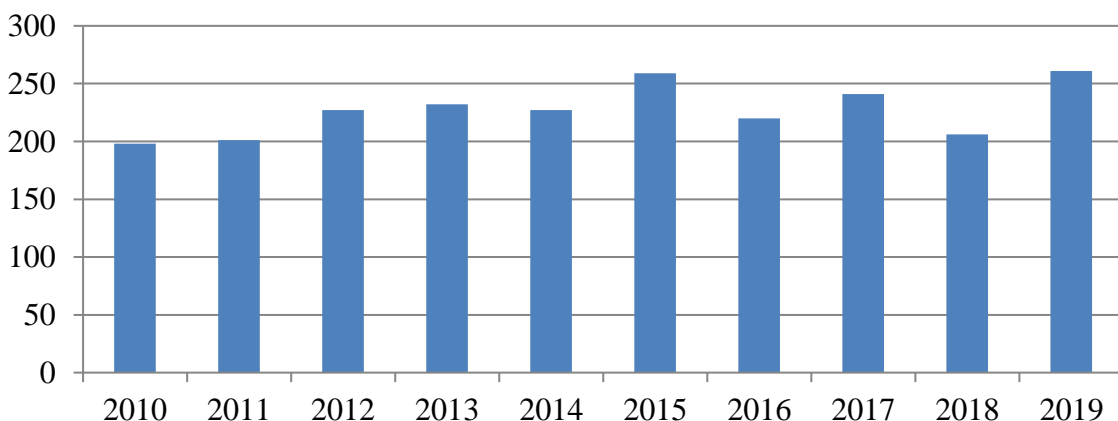


Рисунок 1.2 – Загальна площа житлових будівель, прийнятих в експлуатацію на 1000 осіб населення України, м²

У 2019 році кількість збиткових компаній сягала понад 46% від загальної кількості фірм по галузі (Розвиток, 2020). Повільне зростання довгострокового кредитування також обмежувало можливості для нарощування фінансування інвестиційних проектів. Значне зменшення обсягів наданих кредитних коштів громадянам і не фінансовим корпораціям на придбання, будівництво чи реконструкцію об'єктів суттєво знизило попит, а висока вартість житла на тлі пандемії та фінансової кризи в Україні змушує пересічних громадян все частіше відмовлятися від придбання нерухомості, що в майбутній перспективі може призвести до швидкого занепаду 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 в Румунії – 6,1%, Швеції – 6,8%, Польщі – 7,7%, Словаччині становить 7,9%, [16]. Виходячи з приведених показників, будівельна галузь України має високий потенціал та широкі можливості для розвитку.

1.2 Проблеми енергоефективності житлового сектору для споживача при виборі житла

Розвиток будівельної галузі залежить не лише від якості та кількості зведених квадратних метрів жита забудовником, а й від енергоефективності зведеного будинку. Адже саме енергоефективність відіграє ключову роль при виборі майбутнього помешкання для власника. Так за умови дотримання всіх правил енергоефективності зведеного будинку забудовником, споживач мінімізує витрати на утримання будинку, однак на даний момент, будівельні компанії під час зведення будівель не приділяють належної уваги їх енергоефективності. Це призводить до недоотримання можливої доданої вартості на ринку нерухомості будівельними компаніями та можливої доданої цінності власниками житла, які ще й несуть значні поточні фінансові втрати. Адже більшість новозведених будинків в Україні не мають сертифіката енергоефективності. Забудовників не цікавить, скільки коштів витрачається

марно на опалення та вентиляцію будинку, а покупці нерухомості не можуть зорієнтуватися в тому, скільки коштів їм прийдеться сплати за комунальні послуги у майбутніх періодах. Наведення таких даних є крайньою необхідністю для покупця особливо в даний кризовий період, коли спостерігається стрімкий ріст цін на енергоресурси, що в свою чергу відображається на платоспроможності населення. Так станом на перше півріччя 2021 року загальний борг за житлово-комунальні послуги становив близько 82,1 млрд грн, 90% цього боргу складають кошти за використаний газ та електроенергію. Зважаючи на те, що українців які живуть за межею бідності за даними Державної статистики України в 2020р. в порівнянні з 2019 р. стало менше на 4млн. осіб, пересічні українці сьогодні не в змозі сплачувати постійно зростаючі рахунки на енергоресурси і тим паче марно витрачати енергію своїх будинків. [2, 12].

В країнах ЄС дані питання піднімалися на обговорення неодноразово, та були врегульовані відповідними законами. Так з появою директиви EPBD у країнах ЄС, енергетична сертифікація будівель стала обов'язковою, як і оцінка енергоефективності будівель для проєктувальників. В 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. Наглядним прикладом класів енергетичної ефективності є австрійські нормативи вимог, які умовно можна поділити на п'ять категорій (табл. 1.1).

Приведені в табл. 1.1 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 майбутній перспективі може призвести до швидкого

Таблиця 1.1 – Маркування класів енергетичної ефективності будівель в Австрії

Клас енерго-ефективності	Енергоспожи-вання кВт·год/м ²	Характеристика
A++ A+	не більше 10-15	стандарт пасивного будинку
A	не більше 25	будинок з низьким енергоспоживанням
B	не більше 50	будинок з ультра 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

занепаду будівельної галузі. [16].

Зважаючи на приведені дані, постає також питання про те, яким саме чином забезпечувати власні оселі доступним недорогим теплом та енергією або принаймні хоча б сплачувати меншу ціну. Наразі одним із найкращих методів вирішення даної проблеми може стати використання альтернативних джерел енергії таких, як сонячна, вітрова, енергія землі та ін. Якщо проаналізувати та розглянути звичайну середньостатистичну українську оселю, то можна побачити, що при експлуатації мають місце значні втрати тепла, більшість з яких припадає на стіни, вікна, вентиляцію та дах (рис. 1.3) [3].



Рисунок 1.3 – Втрати тепла у традиційному домі, у % вираженні

Розглянемо простий приклад: візьмемо традиційний приватний будинок з автономним газовим опаленням площею 100 квадратних метрів. Матеріал стін – цегла. Середньомісячний обсяг спожитого газу – 450 м³. Вартість 1 м³ газу в Україні станом на грудень 2021 року дорівнює 8,87 грн. Тобто, лише за газ домогосподарство має сплатити 3 991 грн/місяць. Беручи до уваги мінімальний відсоток втрат тепла через стіни (20%), вікна (15%) та дах (10%), можна порахувати, що 45% тепла (1 796 грн), а відповідно спалюваного газу йде на «опалення» навколишнього середовища.

Першим кроком, який можна зробити для підвищення енергоефективності будинку – це теплоізоляція. Вона використовується для зменшення тепловтрат при експлуатації. Її застосування дозволяє робити стіни та інші огорожувальні конструкції більш тонкими і зменшити витрати найдорожчих основних матеріалів. Теплоізоляційні матеріали стійкі до вологості, вогню, хімічних препаратів, тепла, впливу гризунів і мікроорганізмів. Витрати на утеплення швидко окупаються, тому це можна вважати вигідною інвестицією.

Наступним кроком, який використовують задля підвищення ефективності енергозабезпечення будинку, є заміна звичайних вікон на енергозберігаючі. Енергозбереження полягає в тому, що покриття скла перешкоджає проникненню в кімнату частини ультрафіолетових і виходу з нього інфрачервоних променів від нагрівальних приладів і батарей. За рахунок цього взимку тепло зберігається в приміщенні.

Проте, як правило на утеплення та встановлення ВДЕ у пересічних громадян країни не вистачає коштів а програми по забезпеченню енергоефективними технологіями окрім «Зеленого тарифу» та «Теплих кредитів» в Україні розвинені дуже погано. За таких умов має місце підвищення енергоефективності будинку самим забудовником за допомогою впровадження інноваційних технологій у будівництво, що дозволять спроектувати та звести будинок таким чином, щоб він максимально зберігав енергію.

1.3 Економічні передумови впровадження інноваційних технологій до будівельної галузі у руслі Industry 4.0

Сьогодні в умовах пандемії, будівельні компанії всього світу, намагаються максимізувати прибуток та витримати жорстку конкуренцію, що склалася на ринку нерухомості. Як правило, передові забудовники світу звертаються до концепції Industry 4.0, яка має на меті масове впровадження кіберфізичних систем у виробництво та обслуговування людських потреб, включаючи побут, працю і дозвілля. Протягом останніх декількох років концепція Industry 4.0 та застосування технологій Інтернету речей (IoT) для промислової автоматизації все частіше обговорюється в усьому світі. Загальна мета – покращити продуктивність виробничої лінії, знизити операційні витрати і скоротити час відгуку на індивідуальні вимоги клієнтів [20]. Відбувається зміна парадигми до централізованого масового виробництва, представленому Генрі Фордом, яке значно знизило ціни на автомобілі і дозволило більшій кількості людей купувати, і тим самим розширювати ринок. Але тепер, коли стають доступними ІТ-технології, такі як IoT, Big Data і аналітика, можлива зміна виробництва недорогих, персоналізованих замовлень, у т.ч. і в будівництві [21].

Вперше на державному рівні програма «Індустрія 4.0» була прийнята в Німеччині ще в 2011 році. Йшлося про стратегічну програму економічного розвитку країни [28]. Після чого дану стратегію масово почали впроваджувати такі країни ЄС, як Франція, Італія, Австрія та ін. (Рис. 1.4).

Країна	Назва проекту/стратегії	Рік запуску	Фінансування	Досягнуті результати
Німеччина	Platform Industrie 4.0 (на основі Хай-тек стратегії 2020)	2011	200 млн євро держкоштів; залучення приватного фінансування у співвідношенні від 2:1 до 5:1	Сьогодні у платформі понад 300 учасників, майже 200 проектів (у т.ч. 99 виробничих)
Франція	Alliance pour l'Industrie du Futur (на основі стратегії «Нова промислова Франція»)	2015	10 млрд євро держкоштів; підтримка приватного сектору	Кредити для 800 компаній; діагностика модернізації виробництва 3400 компаній (станом на 2017 р.)
Італія	Intelligent Factory Cluster (CFI) (у рамках Дорожньої карти інновацій)	2012	34 млн євро держкоштів і 11 млн євро приватних	Створено платформу співпраці, реалізовано чотири пріоритетні дослідні проекти
	Національний план Industria 4.0	2017	18 млрд євро держкоштів на 2017–2020 рр.	Інформація недоступна
Австрія	Platform Industrie 4.0 (засновники — Міністерство транспорту, інновацій і технологій Австрії та кілька галузевих асоціацій)	2015	300 тис. євро щороку від засновників + членські внески учасників Платформи (за останніми даними, 200 тис. євро)	У 2015–2017 рр. розширено мережу Платформи Індустрія 4.0 (з 6 до 41 члена), розвиток співпраці між бізнесом і наукою, 80 публікацій про промисловість 4.0, створення бази даних з відповідними стандартами та нормами
Угорщина	Ініціатива «Індустрія 4.0. Національна технологічна платформа» (I4.0 NTP) (на основі стратегії реіндустріалізації Irinyi Plan)	2016	Невідомо Волонтерська робота науковців	У Платформі (яка зареєстрована як асоціація) близько 70 членів. Підготовлено аналітичну роботу про майбутнє Індустрії 4.0 в Угорщині (станом на 2017 р.)

Рисунок 1.4 – Прийняття програми Industry 4.0 в окремих країнах ЄС [32]

Втім, зараз лідером в роботизації виробництва є Китай. Ще в 2014 році президент КНР Сі Цзіньпін виголосив промову в Китайській академії наук про майбутню революції роботів, яка спочатку трансформує Китай, а потім і весь світ. Уряд КНР поставив завдання прискорити впровадження в китайських компаніях технологій великих даних (Big Data), хмарних обчислень (cloud computing), «інтернету речей» (Internet of Things) і сфокусуватися на створенні «розумних фабрик» (intelligent manufacturing) [7].

На прикладі даних країн можна переконатися, що роботизація підприємств та виробничих потужностей є невід'ємною складовою розвитку країни, а також підвищення рівня її економіки. А в умовах пандемії та нестабільної економічної ситуації, що склалася в Україні за останній час, провадження технологій Industry 4.0, у т.ч. і у будівництві є вкрай необхідним заходом, адже, як вже було зазначено в пункті 1.1., на сьогоднішній день кількість збиткових будівельних компаній досягла 46% в цілому по галузі. Найбільша частина видатків таких будівельних компаній спрямована на закупівлю будівельних матеріалів та оплату праці найманим працівникам. До того ж, при традиційному методі будівництва мають місце значні витрати будівельних матеріалів та генерація великої кількості будівельних відходів й сміття, що негативно впливає на навколишнє середовище, та завдає збитків забудовнику.

Вирішенням даних питань у руслі Industry 4.0 та Society 5.0 може стати впровадження революційно нової технології а саме 3D-друк будівельних об'єктів. Основними завданнями даної технології є зниження витрат на зведення об'єкту, зменшення кількості відходів будівництва, а також економія будівельних матеріалів при зведенні споруд [17].

РОЗДІЛ 2. АДИТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ У СВІТОВІЙ ПРАКТИЦІ ЗВЕДЕННЯ ЖИТЛА

2.1 Сутність та роль технології 3D-друку у будівельній галузі

Технологія 3D-друку шаленими темпами почала набирати популярність в різних сферах діяльності, таких як медицина, харчова промисловість, машинобудування, військова справа, будівництво, тощо. Причиною такого стрімкого росту популярності 3D-друку є мобільність та, найголовніше, необмежена можливість друкування об'єктів різної форми [34]. Адже дана технологія базується на створенні тривимірного об'єкту шляхом накладання послідовних шарів матеріалу (друку, вирощування) за даними цифрової моделі. Друк здійснюється спеціальним пристроєм – 3D-принтером, який забезпечує створення фізичного об'єкта шляхом послідовного накладання пластичного матеріалу на основі віртуальної 3D-моделі (рис. 2.1) [1].



Рисунок 2.1 – Зведення будівлі шляхом накладання послідовних шарів бетону за допомогою 3D-принтеру [33].

Дана технологія 3D друку була запатентована ще в 1980-х роках, проте популярність здобула відносно недавно [30]. Сьогодні за допомогою

будівельного 3D-принтеру, можна надрукувати будь який об'єкт чи навіть споруду, використовуючи різні будівельні матеріали. Так, наприклад, звичайний будівельний принтер в якості основного компонента для 3D-друку, як правило, використовує суміш бетону, однак для задоволення зростаючого попиту на екологічно чисті матеріали можна використовувати целюлозу чи глину з соломою (саман) [10].

Сьогодні дана технологія є відносно новою, однак розвинуті країни світу вже почали створювати перші прототипи промислових принтерів та впроваджувати технологію 3D-друку до будівельних та реставраційних робіт. В свою чергу провідні наукові інститути, намагаються поліпшити та значно здешевити дану технологію [5]. Так в Бельгії розташований провінційний Центр екологічного розвитку та інновацій в якому проводиться дослідження технології 3D-друку будівель. Для дослідження в даному центрі побудували найбільший в Європі 3D-принтер для бетону, «Камр С» та використали його щоб створити перший в світі двоповерховий будинок, що був надрукований на 3D-принтері як єдине ціле (рис 2.2).



Рисунок 2.2 – Перший в світі двоповерховий будинок,

Зведення споруди зайняло лише три тижні. У майбутньому вчені планують скоротити цей термін до двох днів. Дана будівля має площу 90 м² і

висоту 8м, що робить її комфортною та придатною для використання в якості житла, офісної будівлі а також виставкового центру [23].

2.2 Світовий досвід використання технології 3D-друку при зведенні житлових споруд

Протягом значного проміжку часу будівельний сектор залишався без помітних проривних інновацій. Поява 3D-друку є однією з найбільш революційних інновацій, що з'явилися за останні два десятиліття. В результаті спроби професора Бехроха Хошневіса з Університету Південної Кароліни вперше було створено стіну, надруковану на 3D-принтері. Впровадження 3D-друку в будівництво почало набувати значної популярності. Все більше зацікавлених сторін усвідомлюють справжній потенціал цієї технології. Це значно стимулювало використання 3D-друку на будівельному ринку протягом останніх років.

Сьогодні провідні будівельні компанії світу мають можливості зводити житлові будинки за декілька днів і вже не приховують технологій будівництва та навіть діляться ними.

В якості основного компонента для 3D-друку як правило використовується суміш бетону однак для задоволення зростаючого попиту на екологічно чисті продукти можна використовувати целюлозу – стійку і практично невичерпну полімерну сировину. Целюлозні волокна мають переваги, зумовлені широкою доступністю, низькою вартістю та високою гнучкістю [36]. До целюлози можемо віднести, ще ряд екологічних компонентів для 3D-друку, наприклад глина з солом'яною (саман). Дану технологію не так давно представило Італійське бюро Mario Cucinella Architects. Ними був розроблений та втілений в життя інноваційний будинок (рис. 2.3), сконструйований за принципом осинового гнізда і видрукований на 3D-принтері з глини з додаванням соломи. Такий будинок складається з двох основних модулів, загальною площею 55 кв. метрів і максимальною висотою стель 4

метри [45]. Використання натуральних сумішей в такому будинку дозволяє будівельникам досягти високого ступеня теплоізоляції і мінімізувати вплив на навколишнє середовище.



Рисунок 2.3 – Прототип саманного будинку TECLA [45]

Прототип такого будинку, побудований в Болоньї і отримав назву TECLA, позиціонується як житло майбутнього з мінімізованим негативним впливом на навколишнє середовище [6].

Схожу модель будинку розробила некомерційна організація New Story, яка використала технологію 3D-будівництва для зведення житла бездомним та малозабезпеченим сім'ям в Латинській Америці (рис. 2.4). Перший етап проекту, був реалізований в мексиканському штаті Табаско. До теперішнього часу за допомогою промислового 3D-принтера Icon Vulcan II було зведено вже два будинки, куди поселили дві сім'ї.

Власники таких будинків в якості оплати нового житла, будуть сплачувати всього 20 доларів США на місяць, протягом 7 років, що покриває суму коштів затрачених на зведення будинку.



Рисунок 2.4 – Надрукований будинок для малозабезпечених в штаті Табаско (В Італії, 2019)

Зведення таких бюджетних будинків здійснюється всього за 24 години. Потім до процесу долучаються працівники, які монтують дах, вставляють вікна та двері. Готові будинки площею 47 м² включають в себе дві спальні, вітальню, кухню і ванну кімнату. Електрика і система водопостачання розроблені у відповідності з усіма вимогами безпеки [27].

2.3 Оцінка економічної доцільності використання технології 3D-друку у будівництві

Значні досягнення в області 3D-друку відкрили можливості для підприємців в області 3D-друку на будівельному ринку, оскільки 3D-друковані матеріали все частіше використовуються для зведення будинків. Очікується, що в найближчі роки 3D-друк на будівельному ринку набере обертів завдяки цілому ряду переваг, включаючи зниження витрат на матеріали, більш швидке будівництво, значно меншу кількість травм і поліпшення форм. Очікується, що завдяки цим перевагам 3D-друк на будівельному ринку виросте в десять разів

протягом прогнозованого періоду і до 2027 року досягне 280 млн дол. США у порівнянні з 29 млн дол. США у 2019 році [33].

На сьогоднішній день існує 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 [35].

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

По-перше, розміри тривимірного будівельного принтеру можуть коливатися, в залежності від масштабу об'єкту будівництва, і бути порівняними з розміром невеликого вантажного автомобіля або досягати габаритів потужного автокрана (Рис. 2.5). [44].



a

б

Рисунок 2.5 – Будівельні принтери

По-друге, в будівельному 3D-принтері в якості основного матеріалу використовується бетонна пластикна суміш, подачу якої забезпечує головка принтера (Рис. 2.6)

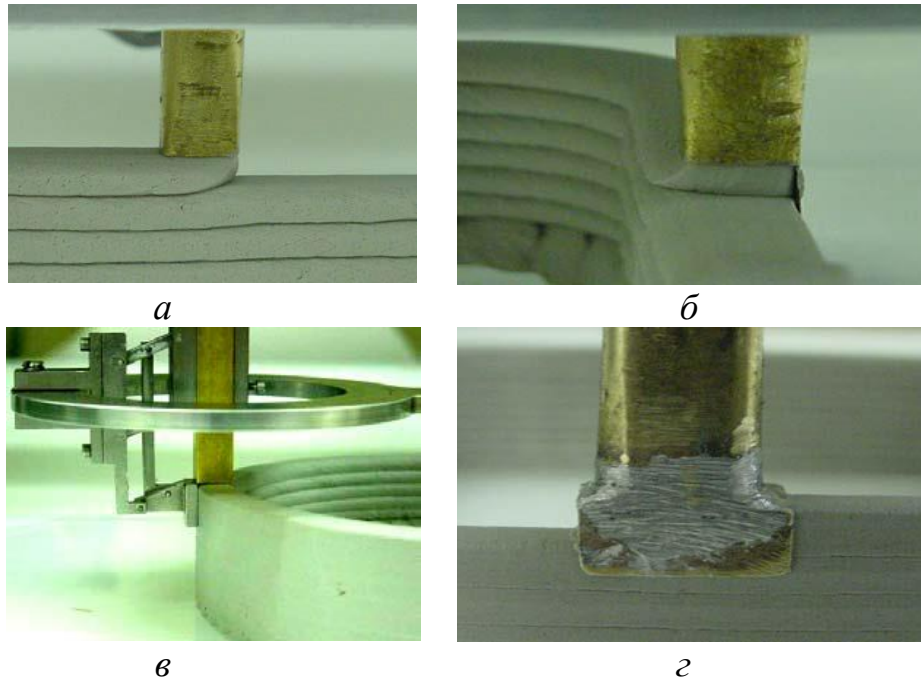


Рисунок 2.6 – Процес друкування об'єкта:

а, б, г – переміщення екструдера; в – головка принтера

Ще одним напрямком за яким відрізняються будівельні 3D-принтери є їх конструкція, та методи зведення стін. Найбільш поширеними конструкції принтерів є з двома та чотирма опорами (рис. 2.7), так звані козлові принтери.

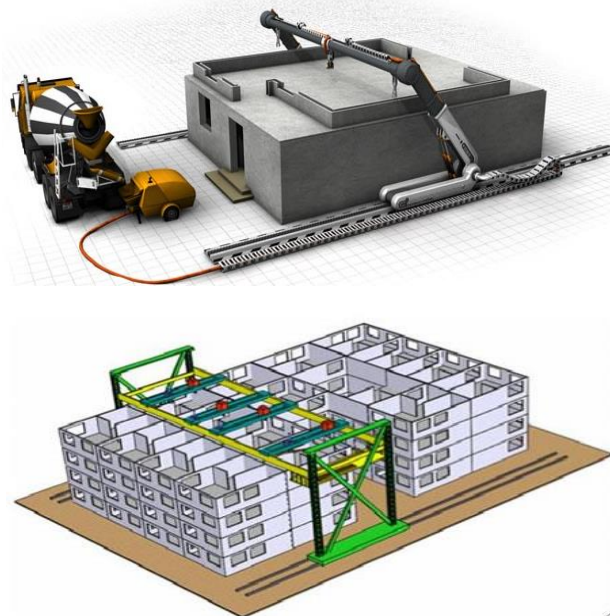


Рисунок 2.7 – Конструкції 3D-принтерів з двома та чотирма опорами

За методами зведення будівель розрізняють принтери, які друкують будівлю повністю (рис. 2.8, а, б), і такі, що друкують окремі конструктивні елементи (рис. 2.8, в). Дане 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.

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



а



б



в



г

Рисунок 2.8– 3D- друк будівельних об'єктів: а - б – зведення будівель; в – друкування конструкцій; г – монтаж друкованих будівельних конструкцій

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 покращання наступних параметрів:

1) Екологічність. За допомогою 3D-друку можна будувати будівлі з екологічно чистих матеріалів. Більше того, деякі 3D-принтери використовують сонячну енергію для будівництва будинків і викидають дуже мало CO₂.

2) Швидкість. На основі 3D-друку вдалося побудувати будинок площею 38 м² лише за 24 години машинного часу, інші роботи – установка, покрівля, встановлення вікон, внутрішня і зовнішня обробка – близько трьох тижнів. В результаті було побудовано повноцінний одноповерховий будинок з вітальною, кухнею, санвузлом, системами опалення та електропостачанням. Бетонна суміш, з якої зроблений будинок, може служити до 175 років [38].

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

Собівартість «друкованого» будинку під ключ площею 38 м², за даними компанії Aris Cor, складає 8 115 дол. США, або 218 дол. США/м². Для порівняння, за традиційної технології будівництва, тільки на будівельно-монтажні роботи для звичайного таунхаусу піде 396 дол. США/м², а з урахуванням вартості дизайну, чорнової обробки, інженерії та ін. – до 464,83 дол. США/м². Тобто 3D-друк будівель вдвічі вигідніший за традиційну технологію їх зведення [38]. В табл. 2.1 представлено SWOT-аналіз будівельної компанії, яка в якості основного засобу будівництва зможе використовувати 3D-принтер [29].

Таблиця 2.1 – SWOT-аналіз використання 3D-принтеру

Сильні сторони	Слабкі сторони
1. Порівняно просто керувати будівництвом об'єкту. 2. Залучення меншої кількості працівників. 3. Відносно низька вартість зведення житла. 4. Висока швидкість зведення. 5. Довговічність надрукованої будівлі. 6. Будівництво будинків не прив'язане до певних геометричних та архітектурних норм	1. Друк будинків обмеженої площі. 2. Постійний контроль оператора. 3. Відносно висока вартість принтера. 4. Друк будинків при низьких температурах тягне за собою збільшення витрат на будівництво
Можливості	Загрози
1. Можливість будувати високоповерхові будівлі 2. 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

SWOT-аналіз (табл. 2.1) наочно демонструє всі переваги та недоліки використання 3D-принтеру в будівництві. Перелік переваг вказує на доцільність використання 3D-принтеру будівельними компаніями.

РОЗДІЛ 3. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ 3D-ДРУКУ У ГАЛУЗІ БУДІВНИЦТВА

3.1 Економічна ефективність використання технології 3D-друку для будівельного підприємства

Перелік переваг 3D-друку житлових будинків, особливо економічних вказують на доцільність оцінки основних фінансових показників використання 3D-друку, середньостатистичною будівельною компанією України. Тому в даному розділі було розраховано фінансову часину створення будівельної компанії на території України, яка в основі своєї діяльності займається зведенням житлових споруд за допомогою технології 3D-друку.

В табл. 3.1 наведено необхідний штат працівників для оптимальної роботи та обслуговування 3D-принтингу, а також приведена їх заробітна плата.

Таблиця 3.1 – 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 вантажного авто	1	9 000
Охоронець	1	7 000
В цілому	5	58 500

Отже, сума щомісячних витрат на заробітну плату персоналу компанії складуть близько 60 тис. грн (табл. 3.1). Для подальшого розрахунку необхідно визначити одноразові витрати на організацію будівельної компанії (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Початкові інвестиції для відкриття будівельного бізнесу на основі 3D-принтингу

Стаття витрат	Сума інвестицій, тис. грн
Реєстрація компанії, включаючи отримання всіх дозволів	50
Створення сайту	10
Придбання 3D-принтеру та необхідного додаткового обладнання	616
Автомобіль для перевезення принтеру	200
Інші витрати	25
Разом	901

Таким чином, більшу частину витрат на відкриття будівельного бізнесу складе придбання 3D-принтеру та вантажного автомобіля для його транспортування. Для розрахунку строку окупності даного підприємства необхідно врахувати амортизаційні відрахування (табл. 3.3).

Таблиці 3.3 – Розрахунок амортизаційних відрахування

3D-принтер Vector 110-110-2 3D	$616\ 000/5 = 123200/12=10\ 266$ грн/міс.
Автомобіль ГАЗель дует	$200\ 000/5 = 40\ 000/12= 3\ 333$ грн/міс
Разом	13 599 грн.міс

Згідно класифікації груп основних фондів, обладнання та транспортні засоби за законом України, за допомогою прямолінійного методу, можна амортизувати за 5 років [13]. Таким чином амортизаційні відрахування на 3D-принтер та автомобіль будуть складати 13 599грн/міс.

Надалі оцінемо орієнтовні місячні поточні витрати на зведення одного будинку за допомогою 3D-принтеру Vector 110-110-2 3D, що зводить типовий одноповерховий будинок площею в 100 м² за 1 місяць (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – 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 переkritтям в 100м ² необхідно 68 т бетону (3*68 + 50)	254,0
Податок за 3 групою ФОП (5% від доходу)	50,0	50,0
Електроенергія для живлення принтеру та допоміжного обладнання	12,5 кВт*год×24 год× ×1,68 грн/кВт*год×30 днів	15,12
Інші витрати	15,0	15,0
Всього		392,62

Собівартість зведення 1 будинку в такому випадку буде становити:

$$392,62 + 13\,599 = 406\,219 \text{ грн}$$

З урахуванням поточних витрат та середньої рентабельності близько 20% річний прибуток будівельної компанії, що використовує 3D-принтер як основний засіб будівництва, складе 974 тис. грн. Строк окупності інвестицій в такий бізнес складе менше року (11 місяців), що демонструє високу інвестиційну привабливість даного проекту [13].

3.2 Економічна ефективність використання технології 3D-друку забудовником для споживача

Створюючи житло за допомогою 3D-принтеру, забудовник максимізує свій дохід шляхом зменшення витрат на зведення самого об'єкту. Даний підхід є невід'ємною складовою ринкової економіки, що має на меті постійну конкуренцію між виробниками, внаслідок чого значно знижується вартість продукту. Такий підхід є надзвичайно вигідним і для самого споживача, який

обирає той и інший продукт, адже споживач заощаджує кошти, та має змогу отримати більше економічних благ за ті самі кошти.

Так, з технологією 3D-друку відбуваються ті ж самі процеси, що зазначені вище. Сьогодні технологія 3D-друку є вдвічі дешевшою за традиційне будівництво, саме цей показник повинен якомога скоріше привернути увагу споживачів, та стимулювати їх до купівлі саме друківаних будівель. В майбутньому, за умови масового впровадження даної технології в будівництво, вартість зведення будинків буде зменшуватися, за рахунок конкуренції на рику, науково-технічного прогресу та найголовніше стандартизації процесів будівництва.

При стандартизації процесів зведення будинків за допомогою 3D-друку, мають місце використання спеціальних рахункових програм, що дозволяють забудовнику і покупцю швидко підрахувати орієнтовну вартість зведення будинку за індивідуальним замовленням, а також спланувати будинок відповідно до уявлень та очікувань покупця. Як можемо побачити з (Рис. 3.1) технологія 3D-друку майже не обмежує змовника у виборі дизайну майбутнього будинку, що беззаперечною перевагою перед традиційними методами будівництва [18, 19].



Рисунок 3.1 – Житлові споруди, що зведені за індивідуальним замовленням

До того ж розробка 3D-моделі будинку в спеціальній програмі, значно дешевша в порівнянні зі звичайною розробкою індивідуального панування будинку, де проекту коштує 15% – 20% вартості зведення самого будинку.

3.3 Економічний ефект використання технології 3D-друку у галузі будівництва для України

Перспективи використання 3D-друку у будівельній галузі України є значними, особливо, якщо брати до уваги те, що для забудовників дана технологія пропонує широкі можливості вибору дизайну друкованої споруди, а також знижує вартість зведення споруди. В свою чергу, для будівельної галузі України дана технологія може принести значні темпи зростання виробленої продукції шляхом зниження собівартості на нерухомість.

В табл. 3.5 представлено динаміку загальної площі, що була прийнята в експлуатацію. З приведених даних за 11 років можна зробити прогноз на наступні 3 роки на основі обчислення середньорічного темпу зростання за середньою геометричною $T_{\text{сер}}=96\%$.

Таблиця 3.5 – Прийняття в експлуатацію загальної площі, тис. м²

Рік	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Прийнята в експлуатацію житлова площа, тис. м ²	8604	8685	9770	9949	9741	11044	9367	10206	8689	11029	5749

Це дає змогу оцінити перспективи будівельної галузі та розрахувати обсяг заощаджених коштів по галузі будівництва України відносно відсотку переведення будівельної галузі України на технологію 3D-друку (рис. 3.2). Для обчислення можливої економії необхідно знайти різницю між собівартістю зведення 1м² житла, за традиційною технологією та технологію 3D-друку (396–218 = 178 дол. США/м² або 178*27,86 = 4 959 грн. (за курсом 27,86 на 01.05.2021) тобто 55%).

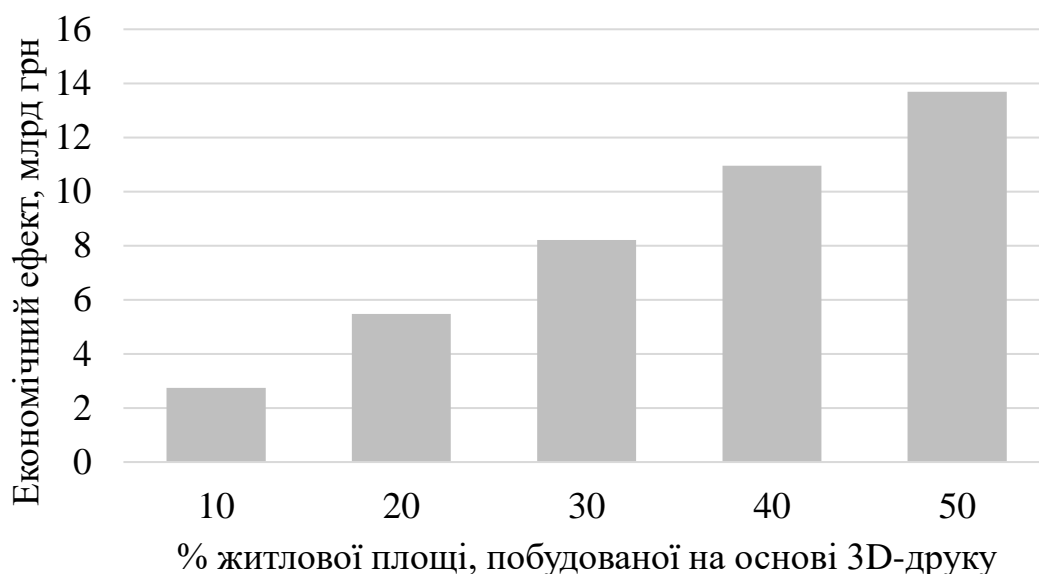


Рисунок 3.2 – Результати прогнозування економічного ефекту залежно від відсотку житлової площі, побудованої на основі 3D-друку

Для будівельної галузі України можлива економія є чималим резервом для розвитку. Дане скорочення вартості житла на ринку нерухомості України значно пожвавить попит, а також цілком компенсує об'єм виконаних робіт, який в карантинних умовах 2020 р. за даними [4] скоротився на 36,2 млрд грн.

Відносно соціального ефекту варто відмітити, що пересічні громадяни України матимуть змогу отримати доступ до комфортабельних та дешевих помешкань, а також значно підвищити рівень якості життя. Соціально-економічним ефектом впровадження 3D-друку будівель є зменшення витрат на будівництво, економія коштів на утримання будинку, адже такі будівлі добре утримують тепло.

ВИСНОВКИ

На даний час будівельна галузь України знаходиться у складному економічному стані, адже 46% відсотків будівельних компаній України знаходяться у кризовому становищі, а загальний борг з виплати праці штатному персоналу становить близько 63,7 млн грн. В 2020-2021 рр. з впровадженням карантинних обмежень ситуація в будівельній галузі тільки погіршилася. Так, обсяг виконаних робіт на будівництві у 2020 р. скоротився на 36,2 млрд. грн. До того ж ситуацію значно загострює той факт, що забудовники віддають перевагу застарілими технологіям зведення житла. Це зумовлено переш за все значними витратами на заміну обладнання і інструментарію компанії, а також збільшення видатків на підвищення рівня кваліфікації штатного персоналу. Будуючи житлові споруди за застарілими технологіями забудовники пропонують ринку житло за надзвичайно високими цінами, яке не можуть собі дозволити пересічні Українці, при цьому нехтуючи нормами енергоефективності споруджуваних будівель. Дана тенденція є невтішною для галузі будівництва України, та веде до занепаду всієї галузі.

Для вирішення даної проблеми нами було розглянуто економічні передумови впровадження інноваційних технологій до будівельної галузі у руслі Industry 4.0. Встановлено, що для забезпечення розвитку передових будівельних компаній світу та отримання прибутку, ведеться активне впровадження технології 3D-друку на основі програми Industry 4.0 а також удосконалення даної технології.

Для проведення поглибленого аналізу технології, було розглянуто її основні властивості та переваги. Зокрема розглянуто сутність технології 3D-друку, світові практики зведення споруд на основі технології 3D-друку, а також проведено SWOT-аналіз переваг та недоліків використання даної технології. За результатами даного аналізу було встановлено, що технологія 3D-друку має ряд значних переваг перед недоліками та загрозами. А зведені за допомогою цієї інноваційної технології будівлі доцільно застосувати як житлові споруди, комерційну нерухомість, а також надруковане житло для малозабезпечених сімей, що є надзвичайно актуальним для умов України. На основі даних досліджень нами було

проведено розрахунок вартості зведення житла за традиційною технологією а також методом 3D-друку. Встановлено що собівартість «друкованого» будинку під ключ площею 38 м², складає 8 115 дол. США, або 218 дол. США/м². Для порівняння, за традиційної технології будівництва, тільки на будівельно-монтажні роботи для звичайного таунхаусу піде 396 дол. США/м², а з урахуванням вартості дизайну, чорнової обробки, інженерії та ін. – до 464,83 дол. США/м². Тобто, як бачимо 3D-друк є на 55% вигіднішим за традиційне будівництво. На підставі цього нами запропоновано створення будівельного підприємства, яке при зведенні житла використовує технологію 3D-друку. Результати розрахунків показали доцільність створення такого підприємства, адже строк повернення інвестицій в даний проект становить менше одного року, що вказує на високу інвестиційну привабливість. Як показали розрахунки, дана технологія вигідна не тільки для окремих підприємств а й для економіки України в цілому. Так нами було встановлено, що використання 3D-друку у галузі будівництва допоможе скороти витрати на зведення житла на майже на 14 млрд грн/рік за умови введення в експлуатацію 50% прогнозованої житлової площі, що в свою чергу пожвавить ринок нерухомості в Україні та позитивно вплине на розвиток економіки України в цілому.

До того ж використання спеціальних рахункових програм та програм для створення об'ємної моделі, дозволяють забудовнику і покупцю швидко підрахувати орієнтовну вартість зведення будинку, а також спланувати будинок відповідно до уявлень та очікувань покупця, що дає можливість не лише придбати житло за нижчою вартістю а також спроектувати його за власним бажанням.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Адитивні технології. (2020). URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B4%D0%B8%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D1%96_%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%97
2. Бідність (2020). URL: <https://www.ukrinform.ua/tag-bidnist>
3. Вайцеккер Э. Фактор пять. / Э. Вайцеккер // Формула устойчивого роста. Доклад Римского клуба. – Москва : АСТ-ПРЕСС КНИГА, 2013. – 368с.
4. Григоренко Ю. Шаткая постройка: кризис в строительной отрасли нарастает. (2020). URL: <https://gmk.center/posts/shatkaya-postrojka-krizis-v-stroitelnoj-otrasli-narastaet/>
5. Дериколенко О. М., Маценко О. М., Скрипка Є. О. Економічні основи формування менеджменту енергоефективності житлового сектору. *Сучасні тренди розвитку урбанізованих територій* : матеріали міжнар. наук.-практ. конф., 22–24 травня 2019 р. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова,
6. Дом Tesla напечатан на 3D-принтере из местной глины (2021). URL: <https://decor.design/dom-tecla-napechatan-na-3d-printere-iz-mestnoj-gliny/>
7. Егоров Н. Как интернет привел промышленность к революции? (2017). URL: <https://www.gazeta.ru/prcom/2017/06/02/10704923.shtml#page2>
8. Економіка енергетики : підручник / за ред. Л. Г. Мельника, І. М. Сотник. – Суми: Університетська книга, 2015. – 378 с. <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/45315>
9. Економіка підприємства : підручник / за заг. ред. д.е.н., проф. Л. Г. Мельника. - Суми : Університетська книга, 2012. - 864 с. <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/80106>
10. Застосування 3D технологій у будівництві - статті компанії Нові Зодчі. (2020). URL: <http://www.n-zodchie.com/ua/articles/pro-zastosuvannya-3d-tehnologiy-u-budivnyitstvi.html>
11. Карінцева, О. І., Харченко, М. О., Пономарьова, Г. С. Підвищення ефективності бізнес-процесів на виробничому підприємстві // Механізм регулювання економіки. 2020. № 4. С. 58-69. <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/83754>

12. Комунальні послуги: як за рік змінилася заборгованість українців (2021). URL:

<https://www.slovoidilo.ua/2021/04/27/infografika/suspilstvo/komunalni-posluhy-yak-rik-zminylasya-zaborhovanist-ukrayincziv>

13. Мельник В. І. Економіка підприємства: навчальний посібник / В. І. Мельник, А. Н. Шумська. - Х.: ХНЕУ, 2013. - 404 с.

<http://repository.hneu.edu.ua/bitstream/123456789/11969/1/%d0%ad%d0%ba%d0%be%d0%bd%d0%be%d0%bc%d0%b8%d0%ba%d0%b0%20%d0%bf%d1%80%d0%b5%d0%b4%d0%bf%d1%80%d0%b8%d1%8f%d1%82%d0%b8%d1%8f%20%20%d1%83%d1%87%d0%b5%d0%b1%d0%bd%d0%be%d0%b5%20%d0%bf%d0%be%d1%81%d0%be%d0%b1%d0%b8%d0%b5.pdf>

14. Мельник Л. Г., Карінцева О. І. (2021) Економіка і бізнес : підручник / за ред. Л. Г. Мельника, О. І. Карінцевої. Суми : Університетська книга, 2021.

316 с. <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/83721>

15. Мельник Л. Г., Карінцева О. І., Кубатко О. В., Сотник І. М., Завдов'єва Ю. М. Цифровізація економічних систем та людський капітал: підприємство, регіон, народне господарство // Механізм регулювання економіки. 2020. № 2. С. 9-28. DOI:

<https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/82236>

16. Мельник Л. Г., Маценко О. М. Інноваційний досвід підприємств у сфері енергозбереження: енергетика, будівництво, транспорт, агровиробництво. *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.

17. Мельник, Л., Ковальов, Б. (2020). Проривні технології в економіці і бізнесі (Досвід ЄС та практика України у світлі III, IV, і V промислових революцій. Сумський державний університет, с. 180.

<https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/79621>

18. Первый в европе жилой дом, напечатанный на 3d-принтере, представили в ярославле (2017). URL: <https://specavia.pro/articls/pervyj-v-evrope-zhiloj-dom-napechatannyj-na-3d-printere-predstavili-v-yaroslavle/>

19. Первый возведенный 3D-принтером глиняный дом TECLA готов (2021). URL: <https://ecotechnica.com.ua/tag/3d-stroitelstvo.html>
20. Позитивні ефекти проривних технологій / Л. Г. Мельник та ін. *Проривні технології в економіці і бізнесі (досвід ЄС та практика України у світлі III, IV і V промислових революцій)* : навчальний посібник ; 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>
21. Промышленность 4.0 - Подход Компании Advantech. (2018). URL: https://www.proxis.ua/ru/show-article/95/?gclid=CjwKCAjwj6SEBhAOEiwAvFRuKP4TANH4U6ZLrd0HwYAtLA OzPP7c6c1QUE2mS0EgLi93SPHhmrX_gRoC_aMQAvD_BwE
22. Промышленные революции : учебное пособие / Л. Г. Мельник, А. М. Маценко, И. Б. Дегтярева, А. В. Кубатко. Сумы : ИТД «Университетская книга», 2017. 160 с. URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/74779>
23. Самый большой строительный 3D принтер напечатал двухэтажный бетонный дом. (2020). URL: <https://ecotechnica.com.ua/arkhitektura/5019-samyj-bolshoj-stroitelnyj-3d-printer-napechatal-dvukhetazhnyj-betonnyj-dom-video.html>
24. Современная модель обеспечения конкурентоспособности человеческого капитала / П. В. Тархов и др. *Общество и экономика постсоветского пространства*. 2013. Выпуск II. С. 163–173. URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/80589>
25. Сотник І. (2018) Підприємництво, торгівля та біржова діяльність / І. Сотник, Л. Таранюк. – К.: Універсальна книга, 2018. – 572с. <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/80114>
26. Сотник І.М. (2016) Мотиваційні механізми дематеріалізаційних та енергоефективних змін національної економіки : монографія / за заг. ред. доктора екон. наук, проф. І. М. Сотник. – Суми : Університетська книга, 2016. – 368 <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/80197>
27. Строительные 3D-принтеры ICON будут возводить бюджетное жилье для малоимущих в Латинской Америке (2019). URL:

<https://ecotechnica.com.ua/arkhitektura/4142-stroitelnye-3d-printery-icon-budut-vozvodit-byudzhethoe-zhile-dlya-maloimushchikh-v-latinskoj-amerike.html>

28. Четвёртая промышленная революция (2021). URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D0%B5%D1%82%D0%B2%D1%91%D1%80%D1%82%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%BC%D1%8B%D1%88%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D1%8E%D1%86%D0%B8%D1%8F

29. Шатов С. В., Маценко О. М., Скрипка Є. О., Даниленко І. О. Еколого-економічні переваги переходу на 3d-друк будівельних об'єктів у руслі industry 4.0. *Український журнал будівництва та архітектури*. 2021. №1. С. 124 – 132.

30. Що таке 3D друк. Етапи 3D друку. Технології 3D друку. (2018). URL: <https://pro3d.com.ua/a358911-scho-take-druk.html>

31. Экономика развития: учебное пособие / под ред. д.-ра экон. наук, проф. Л. Г. Мельника, канд. экон. наук А. Вик. Кубатко. Сумы : «Университетская книга», 2017. 352 с. <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/80184>

32. Яка промислова політика потрібна Україні для переходу до Індустрії 4.0? (2019). URL: <https://www.civic-synergy.org.ua/articles-in-the-media/yaka-promyslova-polityka-potribna-ukrayini-dlya-perehodu-do-industriyi-4-0/#:~:text>

33. 3D Printing in Construction Market. (2020). URL: <https://www.transparencymarketresearch.com/3d-printing-construction-market.html>

34. 3D печать домов: особенности строительства. (2020). URL: <https://biztolk.ru/biznes-idei/proizvodstvo/3d-pechat-domov-osobennosti-stroitelstva.html>

35. Andriichuk O. V., Olasiuk P. Ya. Застосування технології 3D-друку в будівництві *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. Issue 3. Pp. 11–18. [in Ukrainian].

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

37. Kubatko, O. V., Chortok, Y. V., Honcharenko, O. S., Nechyporenko, R. M., & Moskalenko, I. M. (2019). Studying Features of Vehicle Type Selection by Trade and Logistics Enterprise. Mechanism of economic regulation. – 2019. – №3. – C. 73–82. <http://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/76448>
38. Levinskaya A. Stroyka 3D [Building 3D]. (2017). URL: <https://www.rbc.ru/magazine/2017/06/592567559a7947e1bb4b7ea9> [in Russian].
39. Melnyk L. H., Derykolenko O. M., Mazin Yu. O., Matsenko O. I., Piven V. S. Modern Trends in the Development of Renewable Energy: the Experience of the EU and Leading Countries of the World // Механізм регулювання економіки. 2020. № 3. С. 117-133. <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/81810>
40. Melnyk L., Sommer H., Kubatko O., Rabe M., Fedyna S. (2020). The economic and social drivers of renewable energy development in OECD countries. Problems and Perspectives in Management, 18(4), 37-48. doi:10.21511/ppm.18(4).2020.04 <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/82719>
41. Melnyk L.G., Kubatko O. (2017) The impact of green-innovations on environmental quality and energy resource consumption. International economic relations and sustainable development : monograph / edited by Dr. of Economics, Prof. O. Prokopenko, Ph.D in Economics T. Kurbatova. – Ruda Śląska :Drukarnia i Studio GraficzneOmnidiumo 272 p. ISBN 978-83-61429-11-1
42. Melnyk, L., Dehtyarova, I., Kubatko, O., Karintseva, O., & Derykolenko, A. (2019). Disruptive technologies for the transition of digital economies towards sustainability. Economic Annals-XXI, 179(9-10), 22-30. doi: <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/85476>
43. Melnyk, L., Matsenko, O., Dehtyarova, I. & Derykolenko, O. (2019). The formation of the digital society: social and humanitarian aspects. *Digital economy and digital society*. T. Nestorenko& M. Wierzbik-Strońska (Ed.). Katowice: Katowice School of Technology. [in Ukrainian].URL: <http://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/74570>

44. Pro zastosuvannia 3D tekhnolohii u budivnytstvi [About application of 3D technologies in construction]. (2020). URL: <http://www.n-zodchie.com/ua/articles/pro-zastosuvannya-3d-tehnologiy-u-budivnyitstvi.html> [in Ukrainian].

45. ТЕСЛА – глиняный дом, созданный на 3D-принтере по принципу осинового гнезда. (2020). URL: <https://ecotechnica.com.ua/arkhitektura/4764-tecla-glinyanyj-dom-sozdannyj-na-3d-printere-po-printsipu-osinogo-gnezda.html>

46. The effects of the management of natural energy resources in the European Union / V. Voronenko, B. Kovalov, D. Horobchenko, P. Hrycenko // Journal of Environmental Management and Tourism. – Craiova: ASERS Publishing, 2017. – Vol. 8, Issue Number 7(23), P. 1410-1419. Available at: <https://journals.aserspublishing.eu/jemt/article/view/1777>