

## ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ АРМУВАННЯ ПІНОПОЛІСТИРОЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ ДО 3D-ДРУКУ СТІН З ПОЛІСТИРОЛБЕТОНУ ТА ПРИКЛАДИ МЕТАЛЕВИХ ЛИТИХ ДЕТАЛЕЙ БУДІВЕЛЬНОЇ ОПАЛУБКИ

<sup>1</sup>Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ  
<sup>2</sup>Вінницький національний технічний університет

Актуальною потребою є підвищення продуктивності будівництва як житлових будинків, так і службових споруд. А одним із рушійних напрямів сучасної будівельної науки є стремління поєднати в одному матеріалі різні властивості. Холодний і важкий, але міцний бетон наука зробила легким і «теплим», ввівши в структуру спінений кульки-гранули полістирола, і цим створила полістиролбетон (ПСБ). Незважаючи на досить високу міцність для малоповерхового будівництва, блоки з ПСБ досить крихкі. Для уникнення тріщин у стінах та руйнування під панелями перекриття їм потрібний монолітний армований пояс із бетону, виготовлення якого веде до зайвих витрат матеріалів та часу. Для автоматизації будівництва з ПСБ відомо способи 3D-друкування стін безпосередньо на будівельному майданчику. Розглянуто такий новий спосіб зі спіненням полістиролу безпосередньо в плинному шарі ПСБ шляхом пропускання крізь цей шар ПСБ електричного току, який нагріває цей шар та призводить до спінення гранул цього полімеру і пришвидшення тверднення ПСБ. Цей спосіб удосконалено нами технічним рішенням армування стиків між шарами при адитивному їх нарощуванні. Це дозволить збільшити міцність будівельних конструкцій та дає можливість аналогічним чином прокладання в стінах кабелів, гофрованого рукава чи трубки для електропроводки чи комунікацій. Для виготовлення в стінах з ПСБ армованих металом монолітного поясу з бетону під панелі перекриття, перегородок, блоків, плит чи панелей для перекриття застосовують опалубку, металеві деталі кріплення якої налагоджено серійно виготовляти методом лиття. При цьому сталеві гайки для стяжок опалубки, а також вузлові деталі будівельних рамних лісів за технологією ФТІМС НАН України ллють за моделями, що газифікуються, як правило, з литою різьбою від М16 і більшого розміру, що не потребує їх механічної обробки. Це показано на прикладах литого металевого кріплення.

**Ключові слова:** будівництво, 3D-друк, полістиролбетон, армування, пінополістирол, 3D-принтер, литі деталі, будівельна опалубка.

### Вступ

Нині важливою та актуальною потребою є підвищення продуктивності будівництва як житлових будинків, так і службових споруд. Саме тому напрямок на створення модульних литих легковагих конструкцій для побудови житлових будівель чи промислових будов є важливим і актуальним. Стремління поєднати в одному матеріалі різні властивості є одним з рушійних напрямів сучасної будівельної науки. Зокрема, холодний та важкий, але міцний бетон вона зробила легким та «теплим», ввівши у структуру полімер, спінений у вигляді кульок-гранул. Новий матеріал отримав назву полістиролбетон (ПСБ).

Один зі співавторів цієї статті представляє наукову школу у ФТІМС НАН України з досвідом багаторічних досліджень під науковим керівництвом проф. Шинського О. Й. та відпрацювання виготовлення ливарних разових моделей з пінополістиролу (ППС) методами спінювання ППС в оснастці для лиття металу за моделями, що газифікуються (ЛГМ). Моделі з ППС нерідко армують. А також наразі проводиться огляд інформації та виконується дослідження з оптимізації 3D-друку ливарних моделей та форм. Тому звернули увагу на перспективний будівельний матеріал ПСБ [1] (рис. 1), зокрема, на недавно запатентований спосіб адитивного формування з нього стін 3D-друком одночасно зі спінюванням ППС [2, 3]. Задача цієї статті полягає в аналізі досвіду будівництва з ПСБ, та розробці технічного рішення по удосконаленню недавно запатентованого способу 3D-друку стін з ПСБ [2].

### Результати огляду та дослідження

Основні переваги ПСБ: високі енергозберігаючі характеристики (відсутня потреба у додатковому утепленні), а також матеріал не потребує гідроізоляції. Міцність на стиск у ПСБ не висока (максимум М35), тому будувати з нього будівлі, висотою більше 2 поверхів не слід. Низька паропроникність ПСБ має свої плюси та мінуси [4]. Блоки з нього практично не вбирають воду,

тому мають стійкість при переході температури через 0 °С. Саме тому морозостійкість у ПСБ дуже висока. А ось «дихати» стіна з пінополістиролу не буде, бо водяній парі пройти крізь нього дуже важко.

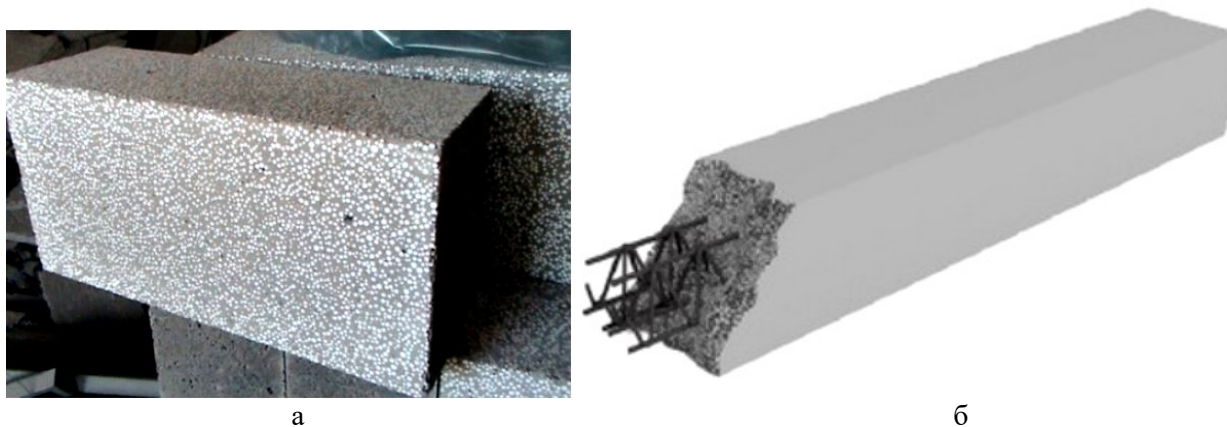


Рисунок 1 – Приклади ПСБ у вигляді блоку (а) [3] та армованої перемички (б)

Незважаючи на досить високу міцність (для малоповерхового будівництва), блоки з ПСБ досить крихкі. Для уникнення тріщин у стінах та руйнування під панелями перекриття їм потрібний монолітний армований пояс із бетону, виготовлення якого веде до зайвих витрат матеріалів та часу. Нерідко ПСБ має проблеми при оштукатурюванні (погане зчеплення з розчином). Ще один негативний момент – нездатність стін з ПСБ тримати кріплення для полиць та шафок. Оптимальна сфера застосування для ПСБ – не капітальні житлові будинки, а господарсько-побутові та технічні споруди [4].

Деякі виробники роблять із ПСБ густиною 500...600 кг/м<sup>3</sup> армовані (металевою арматурою) віконні та дверні перемички різної довжини (від 1,3 до 4,4 метра). Вони виконують відразу дві функції: несучих та теплоізолюючих конструкцій. Самонесуча перемичка виготовляється з армуючим зварним каркасом.

При застосуванні в конструкціях будівель збірних стінових блоків з ПСБ, перемичок та плит рекомендується у горизонтальних швах кладок встановлювати штукатурні сітки [1].

Для підвищення продуктивності праці у будівництві створено спосіб виготовлення стін з ПСБ за допомогою 3D-принтера [2, 3].

Цей спосіб включає попереднє підігрівання в'язучого матеріалу в екструдері, подачу цього матеріалу з сопла екструдера для формування конструкційної та теплоізолюючої частини стіни, який відрізняється тим, що в'язучим матеріалом служить ПСБ з неспіненим полістиролом, який через сопло подають на поверхню раніше покладеного шару на всю його ширину, після чого нагрівають електричним струмом, що пронизує його, подається на бічні шпатель-електроди до температури спінювання полістиролу та формується у новий шар за допомогою верхнього притискного шпателя та шпатель-електродів. Цим досягається пошарове виготовлення стін будівель з необхідними теплоізоляційними та конструкційними властивостями.

Стіни виконуються одночасно на всю їх товщину за один прохід друкуючої голівки-екструдера, що видавлює в'язучий матеріал з одного сопла за допомогою однієї системи подачі в'язучого матеріалу, на відміну від раніше відомих способів друку бетонних стін, зокрема (за критикою у способі [2]) складною роботизованою системою автоматизованого будівництва за допомогою 3D-принтера з подачею в'язучого матеріалу з екструдера, який видавлює в'язучий матеріал через три сопла для формування стіни у два етапи.

При цьому спочатку з бокових соплел формують одним в'язким матеріалом зовнішню та внутрішню версти стіни. Потім, дочекавшись втрати його плинності, слід заповнити іншим в'язким матеріалом порожнину, що сформувалася між зовнішньою та внутрішньою верстами стіни. В останньому випадку потрібні дві системи різних в'язучих, а також швидке тверднення бічних шарів, щоб утримували бічний тиск середнього шару. Приклад описаної роботизованої системи 3D-друку показано на рис. 2 [5].

У способі [2] рівномірно розподілені в об'ємі в'язучого матеріалу гранули полістиролу знижують тепловтрати від конструкції в навколишнє середовище, збільшуючи тривалість дії високих температур та забезпечуючи тим самим інтенсивне наростання міцності бетону.

Змінюючи у рецептурі вміст в'язкого матеріалу, що твердне, та полістиролу, залежно від потреби, можна збільшувати або зменшувати теплоізоляційні або конструкційні властивості стіни.

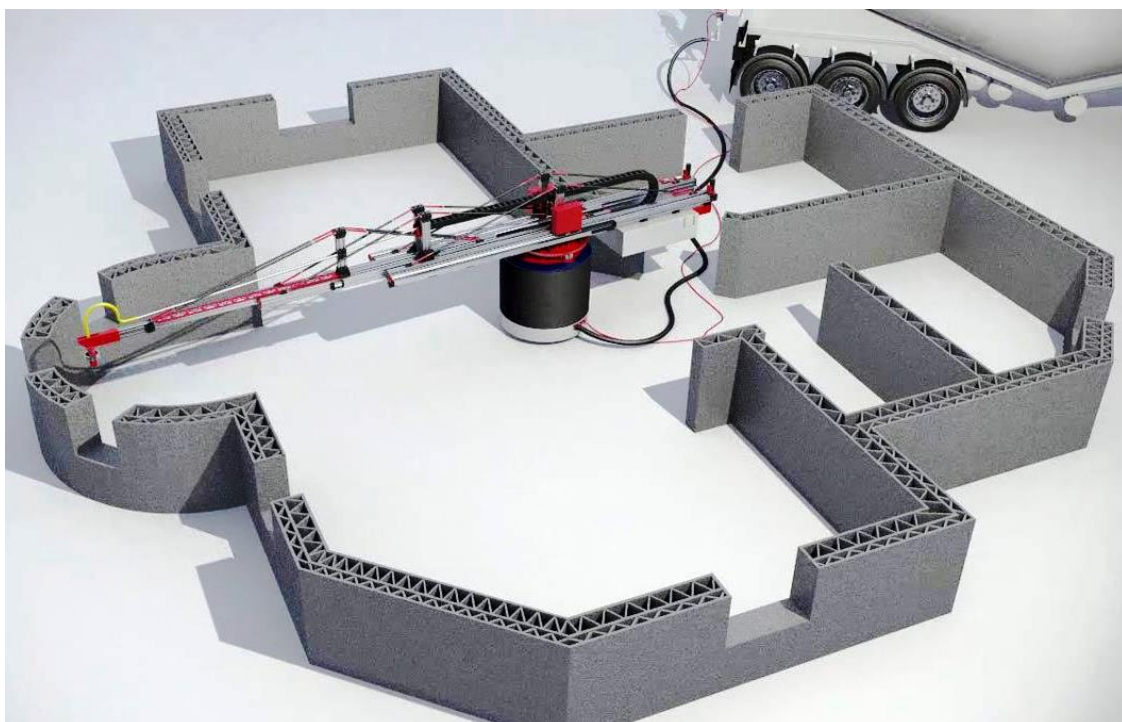


Рисунок 2 – Приклад будівництва з застосуванням 3D-принтера [5]

Друкувальна головка 3D-принтера для друку теплоізолюючих стін із ПСБ на рис. 3 [2] має екструдер 1, обладнаний системою попереднього підігріву 2 в'язючого матеріалу 9 з неспіненими гранулами полістиролу, підключеною до електричної мережі 7, системою подачі 3 в'язючого матеріалу 9 та випускним соплом 4, через яке в'язючий матеріал – ПСБ 9 видавлюється на поверхню раніше відформованого шару ПСБ 11, що втратив рухливість.

Ширина випускного сопла 4 дорівнює ширині стіни, що зводиться. До випускного сопла 4 жорстко закріплені бічні шпателі-електроди 5 з технологічними відгинами. Шпателі-електроди 5 за допомогою кабелів 6 підключено до електричної мережі 7.

Між шпателлями-електродами 5 у верхній частині закріплений притискний шпатель 8, разом вони формують новий шар в'язючого матеріалу 10 з спіненими гранулами полістиролу. Випускне сопло 4 і шпатель притискний 8 виконуються з електроізоляційного матеріалу.

Наше технічне рішення по удосконаленню цього способу полягало в запровадженні армування кожного чи окремих шарів, які нарощуються при друкуванні стіни, шляхом установки котушки 12 поряд з друкувальною головкою і подачі з неї неметалевої сітки 13 (базальт, скловолокно, полімер). Таке армування збільшує жорсткість конструкції та бажане для зони кріплення до стіни навісних полиць, стендів тощо. Сітка сприяє паропроникності вдовж своїх прутів. Також з такої котушки за потреби можливо прокладання в стіні кабелів, гофрованого рукава чи трубки для електропроводки чи комунікацій, або дроту в ізоляції, виводячи їх за межі стіни в кутках приміщення, щоб уникнути додаткового вирізання каналів у стіні з наступними штукатурними роботами. Для покращення плинності суміші і змочуваності сітчастої арматури рекомендується добавка в ПСБ поверхнево-активної речовини, наприклад, смоли омиленої деревної (СДО) за ТУ 13-0281078-02-93 в кількості 0,1-0,3% від маси цементу.

Наше технічне рішення по удосконаленню цього способу полягало у запровадженні армування кожного чи окремих шарів, які нарощуються під час друкуванні стіни, шляхом установки котушки 12 поряд з друкувальною головкою та подачі з неї неметалевої сітки 13 (базальт, скловолокно, полімер). Таке армування збільшує жорсткість конструкції і бажане для зони кріплення до стіни навісних полиць, стендів тощо. Сітка сприяє паропроникності вдовж своїх прутів. Також з такої котушки за потреби можливо прокладання в стіні кабелів, гофрованого рукава чи трубки для електропроводки чи комунікацій, або дроту в ізоляції, виводячи їх за межі стіни у кутках приміщення, щоб уникнути додаткового вирізання каналів у стіні з наступними



штукатурними роботами. Для покращення плинності суміші і змочуваності сітчастої арматури рекомендується добавка в ПСБ поверхнево-активної речовини, наприклад, смоли омиленої деревної (СДО) за ТУ 13-0281078-02-93 в кількості 0,1-0,3% від маси цементу.

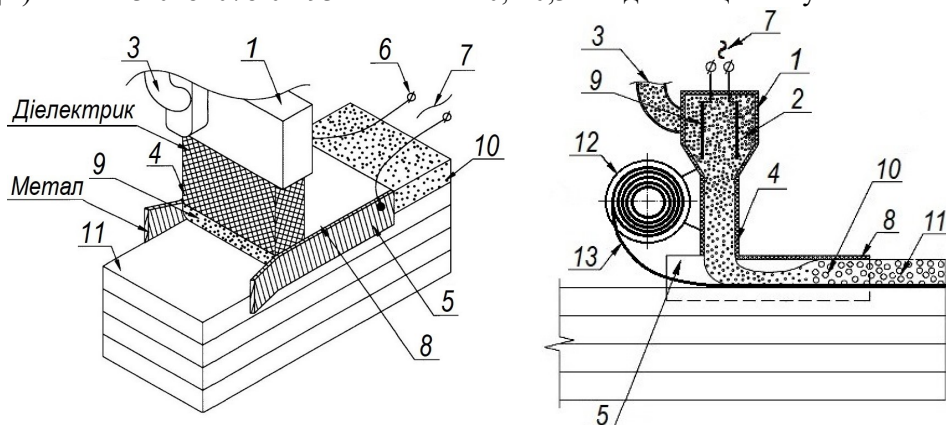


Рисунок 3 – Схема способу виготовлення стін з ПСБ за допомогою 3D-принтера, види частини друкувального пристрою в аксонометрії і розрізі

Для виготовлення в стінах з ПСБ армованих металом монолітного поясу з бетону під панелі перекриття, а також перегородок, блоків, плит чи панелей для перекриття застосовують опалубку, металеві деталі кріплення якої налагоджено виготовляти методом ЛГМ з невисокою собівартістю. При цьому сталеві гайки для горизонтальних стяжок (що виготовлені способом прокатки) опалубки (як правило, дощатої дерев'яної), а також вузлові деталі будівельних рамних лісів серійно ллють, як правило, з литою різьбою від М16 і більшого розміру, що не потребує їх механічної обробки. Приклади такого литого металевого кріплення, виконаного методом ЛГМ в ливарних цехах ФТІМС НАН України, показано на рис. 4.



Рисунок 4 – Приклади металевих кріплень, зокрема з литою різьбою, їх моделей з ППС (білого кольору) та модельних кластерів (кущів) для формування їх в ливарному контейнері з кварцовим піском.

## Висновки

В статті виконано короткий аналіз застосування в будівництві полістиролбетону (ПСБ) та способи підвищення автоматизації будівництва з ПСБ за допомогою 3D-друку. Недавно запатентований спосіб друкування стін зі спіненням полістиролу безпосередньо в плинному шарі ПСБ, яким нарощують 3D-друком стіни будівель накладанням на раніше затверділі шари, удосконалено технічним рішенням армування стиків між шарами. Цим пропонується збільшити міцність будівельних конструкцій, а також створюється можливість аналогічним чином прокладання в стінах кабелів, гофрованого рукава чи трубки для електропроводки чи комунікацій. Для виготовлення в стінах з ПСБ армованих металом монолітного поясу з бетону під панелі перекриття, перегородок, блоків, плит чи панелей для перекриття застосовують опалубку, металеві деталі кріплення якої налагоджено виготовляти методом лиття. При цьому сталеві гайки для стяжок опалубки, а також вузлові деталі будівельних рамних лісів серійно ллюють, як правило, з литою різьбою від М16 та більшого розміру, що не потребує їх механічної обробки, це показано на прикладах литого металевого кріплення.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Полистиролбетон. Технические условия: ГОСТ 33929-2016. М.: ФГУП Стандартиформ, 2016. – 20 с. – (Межгосударственный стандарт).
2. Патент 2739244 РФ, МПК: E04B2/02, B33Y30/00, B33Y10/00, B29C64/106. Устройство и способ для изготовления теплоизолирующих стен из полистеролбетона при помощи 3d-принтера. Оpubл. 22.12.2020, Бюл. № 36.
3. Молодин В. В. (Сибстрин): "Идея печати полистиролбетоном появилась три года назад, а шел к ней 30 лет". URL: <https://additiv-tech.ru/publications/vladimir-viktorovich-molodin-sibstrin-ideya-pechati-polistirolbetonom-poyavilas-tri>
4. Полистиролбетонные блоки: характеристики, плюсы и минусы, размеры и цены. URL: <https://greensector.ru/strojmaterialy/polistirolbetonnye-bloki-kharakteristiki-plyusy-i-minusy-razmery-i-ceny.html>
5. Чечуга А. О. Преимущества и перспективы развития АМ-технологий в строительстве // Известия ТулГУ. Технические науки. 2021. Вып. 11. – С. 311-314.

## REFERENCES

1. Polystyrene concrete. Specifications: GOST 33929-2016. M.: FGUP Staidartinform, 2016. - 20 s. – (Mezhgosudarstvenny standart).
2. Patent Russia no. 2739244, IPC: E04B2/02, B33Y30/00, B33Y10/00, B29C64/106. Device and method for the manufacture of heat-insulating walls from polystyrene concrete using a 3d printer. Opubl. 22.12.2020, Byul. № 36.
3. Molodin V.V. (Sibstrin): "The idea of printing with polystyrene concrete appeared three years ago, and it took 30 years to get to it". URL: <https://additiv-tech.ru/publications/vladimir-viktorovich-molodin-sibstrin-ideya-pechati-polistirolbetonom-poyavilas-tri>
4. Polystyrene concrete blocks: characteristics, pros and cons, sizes and prices. URL: <https://greensector.ru/strojmaterialy/polistirolbetonnye-bloki-kharakteristiki-plyusy-i-minusy-razmery-i-ceny.html>
5. Chechuga A.O. Advantages and prospects for the development of AM-technologies in construction // Izvestiya TulGU. Tehnicheskie nauki. 2021. Vyp. 11. – S. 311-314.

*Дорошенко Володимир Степанович* – д-р техн. наук, провідний науковий співробітник відділу фізико-хімії ливарних процесів, Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України (м. Київ), e-mail: [doro55v@gmail.com](mailto:doro55v@gmail.com), orcid.org/0000-0002-0070-5663.

*Янченко Олександр Борисович* – кандидат техн. наук/ Ph.D., доцент, кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, e-mail: [1961yab@gmail.com](mailto:1961yab@gmail.com), orcid.org/0000-0002-3888-3772.

**V. Doroshenko<sup>1</sup>**  
**O. Yanchenko<sup>2</sup>**

# APPLICATION OF THE METHOD OF REINFORCING POLYSTYRENE MODELS TO 3D PRINTING OF WALLS MADE OF POLYSTYRENE CONCRETE AND EXAMPLES OF METAL CAST PARTS OF BUILDING FORMWORK.

<sup>1</sup>Physical and Technical Institute of Metals and Alloys of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

<sup>2</sup>Vinnytsia National Technical University

*An urgent need is to increase the productivity of the construction of both residential buildings and office buildings. One of the driving directions of modern building science is the desire to combine different properties in one material. Science made cold and heavy, but strong concrete light and “warm” by introducing foamed balls-granules of polystyrene polymer into the structure, and this created polystyrene concrete (PSB). Despite the sufficiently high strength for low-rise construction, PSB blocks are quite fragile. In order to avoid cracks in the walls and destruction under the floor panels, they need a monolithic reinforced concrete belt, the manufacture of which leads to unnecessary costs of materials and time. To automate the construction of PSB, methods of 3D printing of walls directly at the construction site are known. Such a new method is considered with polystyrene foaming directly in the current PSB layer by passing an electric current through this PSB layer, which heats this layer, which leads to foaming of polymer granules and acceleration of PSB hardening. This method has been improved by us with a technical solution for reinforcing joints between layers with their additive build-up. This will increase the strength of building structures, and will similarly allow the laying of cables, corrugated sleeves or tubes for electrical wiring or communications in the walls. For the manufacture of metal-reinforced monolithic concrete belts in walls made of PSB under floor panels, partitions, blocks, slabs or panels for flooring, formwork is used, the metal parts of the fasteners of which are debugged to be mass-produced by casting. At the same time, steel nuts for formwork ties, as well as key parts of building frame scaffolding according to the FTIMS NAS of Ukraine technology, are cast on gasified models, as a rule, with cast threads from M16 and larger, which does not require their machining. This is illustrated by examples of cast metal fasteners.*

*Keywords: construction, 3D printing, polystyrene concrete, reinforcement, expanded polystyrene, 3D printer, cast parts, construction formwork.*

**Doroshenko Vladimir** – Dr. Tech. Sciences, Leading Research Fellow, Department of Physical Chemistry of Foundry Processes, Institute of Physics and Technology of Metals and Alloys, National Academy of Sciences of Ukraine (Kyiv), e-mail: doro55v@gmail.com, orcid.org/0000-0002-0070-5663.

**Yanchenko Alexander** – Ph.D., Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Vinnytsia National Technical University, e-mail: 1961yab@gmail.com, orcid.org/0000-0002-3888-3772.