

Наступним і найбільш розповсюдженим в останні десятиліття типом будівельних систем пенітенціарних комплексів, зокрема у Америці та Австралії, виступає монолітна та збірно-монолітна системи, яка особливо ефективно використовується для зведення модульних будівель. Збірні будівлі пенітенціарних установ забезпечують більшу безпеку у порівнянні з цегляними, бетонними та кам'яними блоками, а також дозволяють захистити приміщення для утримання ув'язнених від несанкціонованого доступу і самих ув'язнених - від фізичних пошкоджень. Отже, можна стверджувати, що збірні монолітно-бетонні будівельні системи набули достатньої популярності у галузі проектування і будівництва пенітенціарних установ в багатьох країнах світу завдяки своїй безпеці, міцності конструкцій, короткому терміну будівництва, якості матеріалів та довгій експлуатації.

Останньою за хронологією і найбільш сучасною, але найменше перевіреною досвідом, виступає адитивна будівельна система, відповідно цифровому дизайну та технологій якої, будівлі та їх частини «друкуються» на 3D-принтері. Технологія «друку» будівель та їх частин на 3D-принтері знаходиться, безумовно, на стадії дослідження і тестування, але обіцяє стати надійною заміною для багатьох традиційних будівельних систем через свою екологічність, низьку вартість у майбутньому, короткі терміни будівництва та інші адаптивні можливості, які є важливими для прогресивного розвитку будівництва і експлуатації пенітенціарних та інших закритих установ.

У межах концепції перспективного розвитку архітектурно-будівельної та суміжних галузей, що базується на взаємопроникненні та синтезуванні інноваційних знань і технологій для вдосконалення практик дизайну та будівництва різних типів установ, з'являється давно очікувана для нашої країни можливість відкрити нові перспективи для створення сучасної просторової системи будівель і комплексів, що традиційно вважалися закритими для суспільства. Можна передбачити, що залучення у виправну галузь архітекторів і будівельників, які принесуть нові ідеї щодо правильного вибору та запровадження сучасних будівельних систем та матеріалів, відкриє нові перспективи гармонізації середовища для утримання і ресоціалізації заарештованих, засуджених та інших соціально незахищених верств населення.

К.т.н., доц. **Аніщенко А. І.**¹, к.т.н., доц. **Алейнікова А. І.**¹, к.т.н., доц. **Коваленко А. С.**²,
к.т.н., доц. **Нестеренко М. М.**³, к.т.н., доц. **Нестеренко Т. М.**³

¹(Харківський національний університет будівництва та архітектури, Україна);

²(ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, Україна);

³(Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»)

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ КОМПЛЕКТ МАЛОГАБАРИТНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ ВИРОБІВ З ПОЛІСТИРОЛ-БЕТОННОЇ СУМІШІ

В сучасному світі при будівництві малоповерхових будинків, або будинків нестандартної форми використовуються вироби з полістирол-бетонної суміші. Із неї виготовляють як окремі блоки, так і цілі ділянки будинку у вигляді утеплювача. Найчастіше це грімідкі машини, які працюють в умовах підприємства, а потім готову суміш або блоки транспортують на будівельний майданчик. Це створює незручності в часі між операціями, тим самим зменшується продуктивність виконання будівельних робіт.

Тому для зменшення простою машин, збільшення продуктивності лінії, а головне – отримання якісної продукції потрібно створити технологічний комплект обладнання, який буде працювати в одному темпі в залежності в часі один від одного, тим самим не зменшуючи якість отриманої готової суміші, в подальшому – виробу з полістирол-бетону.

Аналізуючи різновиди змішувачів для приготування полістирол-бетонних сумішей [1- 6], можна прийти до висновку, що основними та найбільш розповсюдженими є змішувачі гравітаційної або примусової дії (одновальні або двовальні) [7-8].

Найпростішим варіантом для приготування суміші являється гравітаційний циклічний бетонозмішувач звичайного конструктивного рішення, який використовується для

приготування рухомих будівельних сумішей.

Змішувач примусової дії – це установка РСГ-1000 – герметичний змішувач горизонтального типу призначений для приготування і транспортування пінобетонної, полістирол-бетонної сумішей різної щільності до місця укладання [9].

Перемішуючий механізм установки складається з двох різноспрямованих шнеків, що забезпечує якісне перемішування компонентів і однорідність суміші.

Конструкція змішувача дозволяє відмовитися від використання додаткових насосів для транспортування суміші. Подання суміші до місця укладання здійснюється за рахунок надмірного тиску в змішувачі, що створюється компресором. У змішувач вбудований запобіжний клапан, за допомоги якого дозволяється регулювати надмірний тиск при вивантаженні суміші. Суміш можливо подавати на відстань до 20-30 м по горизонталі і до 5-6 м по вертикалі.

Вбудований в установку напівавтоматичний високопродуктивний піногенератор дозволяє отримувати рівнопористий пінний розчин з можливістю регулювання щільності.

Змонтований на корпусі змішувача пульт управління дає можливість управляти усіма функціями установки одному операторові. Установку можливо вбудувати у виробничі комплекси з автоматизованою системою управління.

Технологічні комплекси виробництва виробів з полістирол-бетонної суміші бувають різними в залежності від комплектації базової машини, продуктивності лінії та виду виробу, що виготовляється.

Лінія конвеєрного типу максимально автоматизована [10]. Залучення робочих рук практично не потрібно. Відрізняється високою вартістю і максимальною віддачею. Вироби, що вироблені на такому обладнанні, будуть мати хорошу геометрію і високі показники у зв'язку з точним дозуванням компонентів і суворим дотриманням технології.

Лінія складається з бункерів для зберігання складових виробу, змішувача для приготування полістирол-бетону, ручного вібропресу, дробарки для відходів пінопласту.

Завдяки приведеним технологіям можна виготовляти блоки та цегли з полістирол-бетону [11]. Також ексклюзивним продуктом з використанням полістирол-бетону є купольні будинки від компанії SunHouse (рис. 1) [12].



Рис. 1. Купольний будинок з полістирол-бетону

Каркас будівлі виконаний за допомогою ексклюзивної опалубки, виготовленої з багатошарового скловолокна. Конструкції можуть бути трьох діаметрів – 4, 7 та 9 м. За допомогою бетононасосної станції готова суміш подається в опалубку. При спорудженні каркасу не використовується арматура. Після зняття опалубки стіни рівні і не потребують додаткового вирівнювання поверхні.

З рівня техніки відомі конструкції малогабаритного обладнання, які працюють у складі технологічного комплексу, що суміснені в часі. Їх використовують для приготування бетонних сумішей, а далі – транспортування суміші або проведення торкрет-робіт. Такі комплекси відрізняються мобільністю, компактністю та організованою автоматичною роботою [13- 15].

Після проведення аналізу існуючого обладнання, а також технологічних ліній виробництва виробів з полістирол-бетону пропонується технологічний комплект малогабаритного обладнання (рис.2) [16], завдяки якому можна виготовляти якісну полістирол-бетонну суміш з додаванням фібрових елементів. Наявність різчика фібри дозволяє зменшити комкуватість фібри, тим самим збільшити міцність виробів.

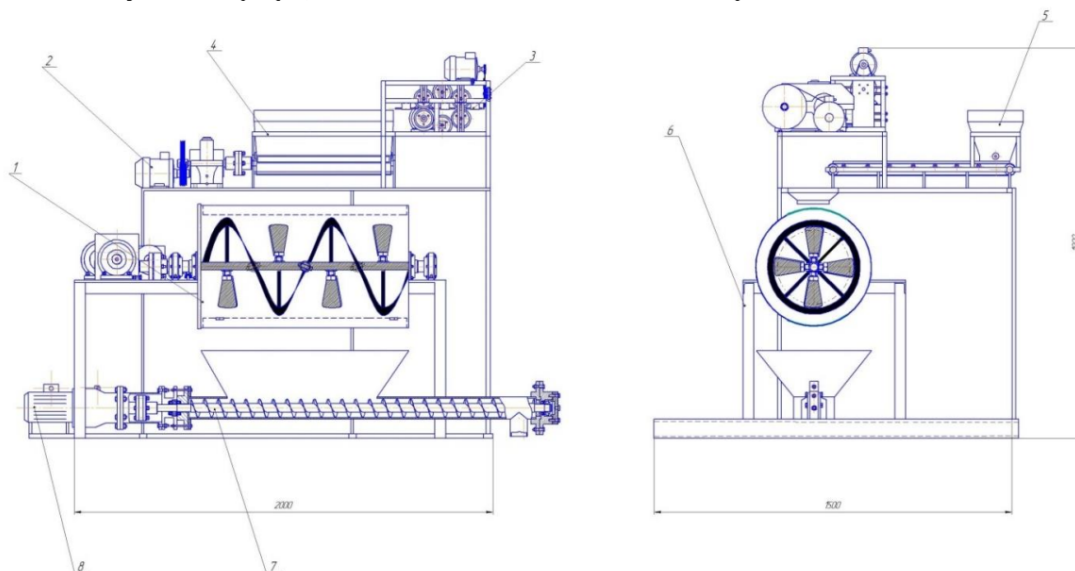


Рис. 2. Комплект обладнання для приготування полістирол-бетонної суміші

1 – змішувач гравітаційно-примусової дії; 2 – привід стрічкового живильника; 3 – різчик фібри; 4 – стрічковий живильник; 5 – бункер складових компонентів; 6 – рама; 7 – шнековий живильник; 8 – привід шнекового живильника

Комплект обладнання складається з базової машини – змішувача примусової дії, різчика фібри, стрічкового живильника для подачі компонентів суміші, шнекового живильника для транспортування готової суміші. Все обладнання змонтовано на одній рамі та працює в одному темпі (в залежності від продуктивності змішувача), що дозволяє скоротити час на подачу компонентів суміші. Віддозовані складові компоненти суміші зберігаються в бункері 5 і далі по стрічковому живильнику 4 транспортуються до завантажувального отвору змішувача 1. В цей час фіброві волокна нарізуються за допомогою різчика фібри 3 та рівними порціями розміщуються на стрічці живильника 4. Готову полістирол-бетонну суміш розвантажують зі змішувача 1 до приймального бункера шнекового живильника 8 і далі транспортують до посту формовки виробів.

Аналізуючи відомі конструкції змішувачів, які використовуються для приготування полістирол-бетонних сумішей, слід відмітити:

- складність конструктивного виконання змішувачів;
- невпевненість у можливості отримання однорідних сумішей;
- налипання суміші, що виготовляється, на поверхні змішувача;
- тривалий час на процес приготування суміші.

У зв'язку з цим, враховуючи зазначені недоліки існуючих машин, пропонується використовувати для приготування таких сумішей бетонозмішувач гравітаційно-примусової дії, який працює у каскадному режимі.

Вже відома конструкція бетонозмішувача гравітаційно-примусової дії використовувалась для приготування малорухливих та жорстких бетонних сумішей, пройшла апробацію в умовах підприємства.

Пропонується нове конструктивне рішення такого змішувача, який за параметрами буде відповідати умовам для приготування полістирол-бетонних сумішей з фібровими елементами, яке представлено на рис. 3.

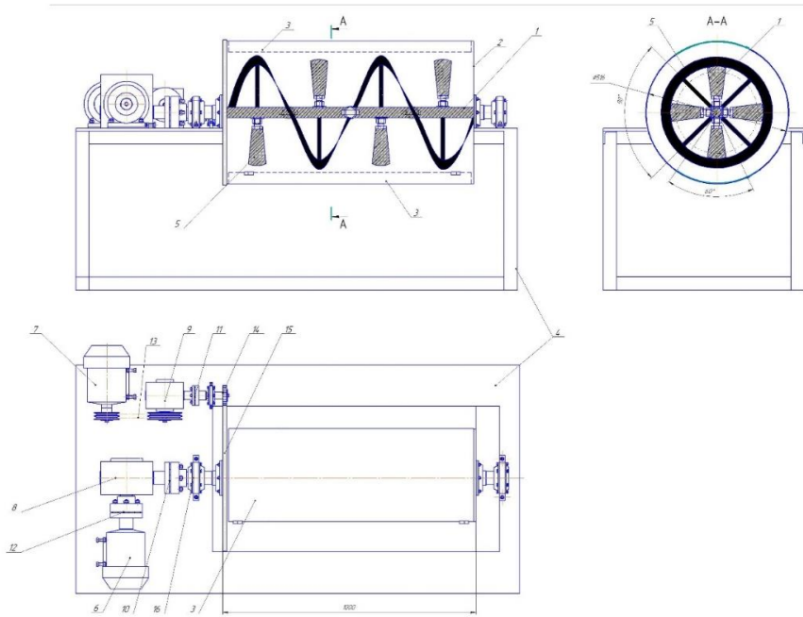


Рис. 3. Принципова схема змішувача гравітаційно-примусової дії

1 – шнековий вал; 2 – корпус; 3 – кришка; 4 – рама; 5 – лопатка корпусу; 6, 7 – електродвигун; 8, 9 – черв'ячний редуктор; 10, 11, 12 – муфта; 13 – клинопасова передача; 14 – зірочка; 15 – ланцюг; 16 – роликкоопера

Змішувач гравітаційно-примусової дії складається з корпусу циліндричної форми. У середині корпусу розміщений горизонтальний стрічково-лопатевий вал, лопаті якого закріплено на ньому по гвинтовій лінії. Корпус змішувача і стрічково-лопатевий вал обертаються в протилежних напрямках.

Конструкція змішувача дозволяє приготувати полістирол-бетонну суміш за допомогою обертання стрічково-лопатєвого валу. Під час приготування полістирол-бетонної суміші з додаванням дрібного заповнювача (піску) до процесу роботи стрічково-лопатєвого валу додається обертання корпусу змішувача в протилежному напрямку. Також при коефіцієнті заповнення $k_{з0}$ більше ніж 0,5 рекомендується використовувати одночасно обертання як стрічково-лопатєвого валу, так і корпусу змішувача.

Принцип роботи наведеної вище машини наступний: від електродвигуна 6 через муфту 12 передається крутний момент до редуктора 8. У свою чергу, від валу редуктора 8 через муфту 10 починає обертатися горизонтальний вал 1 із закріпленими на ньому лопатями 5.

Від електродвигуна 7 через клинопасову передачу 13 передається крутний момент до редуктора 9. Далі крутний момент від валу редуктора 9 через муфту 11 приводить в обертання корпус бетонозмішувача 2 за допомогою ланцюгової передачі, яка складається із зірочки 14 і ланцюга 15, закріплених на зовнішній поверхні корпусу 2.

До корпусу бетонозмішувача 2 прикріплені кришки 3, які перекривають завантажувально-розвантажувальний отвір машини і, при необхідності, відкриваються або закриваються.

Для визначення основних показників роботи обладнання комплексу запропонована методика розрахунку його основних параметрів, таких як продуктивність і потужність, що витрачається на процес приготування полістирол-бетонної суміші.

Визначення технічної продуктивності змішувача проводиться з урахуванням конструктивних параметрів машини і особливостей робочого процесу:

$$P_{\text{тех}} = V_{\text{заг}} \cdot K_3 \cdot Z_{\text{ц}} \cdot \rho_0, \text{ т/год}, \quad (1)$$

де $V_{\text{заг}}$ – загальний об'єм суміші, що знаходиться в корпусі змішувача, м^3 ; K_3 – коефіцієнт

заповнення об'єму змішувача; $Z_{ц} = 3600/t_{ц}$ – кількість циклів роботи машини за годину; $t_{ц} = t_1 + t_2 + t_3$ – тривалість одного циклу, який складається з часу на завантаження компонентів t_1 , їхнє перемішування t_2 та розвантаження готової суміші t_3 , с; ρ_0 – середня густина суміші, т/м³.

Загальний об'єм суміші, що знаходиться в корпусі змішувача, можна визначити за формулою:

$$V_{заг} = V_{к} - V_{в} - V_{н.лв} - V_{лв} - V_{ш} - V_{ст}, \text{ м}^3. \quad (2)$$

Загальний об'єм корпусу: $V_{к} = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot R_{к.вн}^2 \cdot L_{к}$, м³, де $R_{к.вн}$ – внутрішній радіус корпусу змішувача, м; $L_{к}$ – довжина корпусу, м.

Загальний об'єм валу: $V_{в} = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot r_{в}^2 \cdot L_{в}$, м³, де $r_{в}$ – радіус валу, м; $L_{в}$ – довжина валу, м.

Загальний об'єм ніжок лопаток: $V_{н.лв} = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot r_{н.внут}^2 \cdot z_{н} \cdot C_{н}$, м³, де $r_{н.внут}$ – внутрішній радіус ніжки, м; $z_{н}$ – кількість ніжок; $C_{н}$ – товщина ніжки, м.

Загальний об'єм лопаток: $V_{лв} = \frac{1}{2} \cdot z_{л} \cdot b_{л} \cdot h_{л} \cdot C_{л}$, м³, де $z_{л}$ – кількість лопаток; $b_{л}$ – ширина лопатки, м; $h_{л}$ – висота лопатки, м; $C_{л}$ – товщина лопатки, м.

Загальний об'єм шнека: $V_{ш} = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot (L_{шн} - l_{шн}) \cdot (R_{шн}^2 - r_{шн}^2) \cdot C_{ш}$, м³, де $L_{шн}$, $l_{шн}$ – довжина шнека в розгорнутому вигляді по внутрішньому та зовнішньому діаметру, $L_{шн} = \sqrt{S^2 + (\pi + D_{шн})^2}$, $l_{шн} = \sqrt{S^2 + (\pi + r_{шн})^2}$, м; $R_{шн}$, $r_{шн}$ – зовнішній і внутрішній радіуси шнека, м; $C_{ш}$ – товщина шнека, м.

Загальний об'єм стійок для кріплення шнека: $V_{ст} = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot R_{ст}^2 \cdot z_{ст} \cdot C_{ст}$, м³, де $R_{ст}$ – внутрішній радіус стійок, м; $z_{ст}$, $C_{ст}$ – кількість і товщина стійки шнека, м.

Потужність змішувача, що витрачається у процесі приготування суміші, складається з: потужності, що витрачається на придбання крутного моменту; потужності, що витрачається на подолання сил тертя, що виникають при взаємодії маси бетонної суміші з лопатевим валом, та шнековою стрічкою; потужності, що витрачається на переміщення суміші в осьовому напрямку; потужності, що витрачається на подолання сил тертя, що виникають при взаємодії маси суміші зі шнековою частиною валу:

$$N_{р.о} = \left(\omega_{в} \cdot M_{лв} + F_{терт.в} \cdot V_{абс.в} \cdot z_{л} + \frac{c \cdot \rho_0 \cdot S_{сер} \cdot \omega_{в}^3 \cdot k_{зо} \cdot z_{ш} \cdot (D_{ш.з}^2 - d_{ш.вн}^2)}{32 \cdot \pi^2 \cdot k_{б}} + k_{зо} \cdot \omega_{в} \cdot M_{ш} \right) \cdot \frac{1}{1000 \cdot \eta_{в} \cdot \eta_{ш}}, \quad (3)$$

де $\omega_{в}$ – кутова швидкість обертання лопатевого валу, с⁻¹; $M_{лв}$ – крутний момент лопатевого валу, $M_{лв} = P_{бс} \cdot R_{лв} \cdot z_{л}$, Н · м; $P_{бс}$ – зусилля, що виникає при дії суміші на лопатку валу, $P_{бс} = q \cdot b_{л} \cdot h_{л} \cdot c_{л} \cdot \cos \beta \cdot R_{л.в.сер}$, Н; q – тиск суміші на лопатку валу, $q = C_0 \cdot \rho_0 \cdot V_{в}^2$, Па; $V_{в}$ – колова швидкість валу, $V_{в} = \omega_{в} \cdot R_{в}$, м/с; де C_0 – коефіцієнт опору руху лопатки при взаємодії з сумішшю; $\alpha_{в}$ – кут підйому суміші, з якого суміш починає сходження з лопатки валу; $R_{л.в.сер}$ – середній радіус лопатевого валу, $R_{л.в.сер} = \frac{R_{лв} + r_{лв}}{2}$, м; $F_{терт.в}$ – сила тертя, що виникає під час руху частинок суміші по поверхні лопатки, $F_{терт.в} = G_{см} \cdot \frac{1}{3} \cdot (f_1 \cdot \cos \varphi_{в} + \sin \varphi_{в})$, Н; $G_{см}$ – сила тяжіння суміші, $G_{см} = V_{заг} \cdot \rho_0 \cdot g$, Н; g – прискорення вільного падіння, м/с²; f_1 – коефіцієнт тертя суміші об поверхню лопатки; $z_{л}$ – кількість лопаток на валу; $\eta_{в}$ – к.к.д. приводу валу; $V_{абс.в}$ – абсолютна швидкість руху частинок суміші по лопатках валу, $V_{абс.в} = \omega_{в} \cdot R_{в} \cdot \sqrt{1 - \frac{R_{в.вн}^2}{R_{в.зов}^2}}$, м/с; c – коефіцієнт опору руху лопатки у процесі перемішування суміші в напрямку її руху по колу; $S_{сер.ш}$ – крок шнека по його середньому діаметру, $S_{сер.ш} = \pi \cdot D_{сер.ш} \cdot \tan \alpha_{сер.ш}$, м; $D_{сер.ш}$ – середній діаметр шнека, $D_{сер.ш} = 0,5 \cdot (D_{ш} + d_{ш})$, м; $\alpha_{сер.ш}$ – кут підйому гвинтової лінії шнека по середньому діаметру, $\alpha_{сер.ш} \approx \arctg \frac{k_1 \cdot S}{D_{ш.з}}$; k_1 – коефіцієнт, що дорівнює $k_1 = 0,4 \dots 0,45$; S – крок гвинтової лінії шнека; $S = E \cdot D_{ш}$, м; E – відношення шагу гвинта до діаметру шнека; $z_{ш}$ – кількість витків шнека; $k_{б}$ – коефіцієнт

повернення суміші; $M_{ш}$ – момент сил тертя бетонної суміші по поверхні шнека, визначається за такою залежністю, $M_{ш} = \frac{\pi \cdot c \cdot \rho_0 \cdot S_{ср} \cdot \omega_{ш}^2 \cdot f_1 \cdot Z_{ш} \cdot tg \alpha_{ср.ш} \cdot \sin \alpha_{ср.ш} \cdot (D_{ш.зовн}^5 - D_{ш.вн}^5)}{80 \cdot k_B}$, Н · м.

В конструкції змішувача запропоновано використання обертового корпусу, що дозволяє завантажувати більший об'єм компонентів, а також в випадках виробництва малорухомих сумішей.

Тому потужність, яка необхідна на обертання корпусу змішувача, можна визначити як:

$$N_K = \frac{0.85 \cdot G_{см} \cdot h \cdot Z \cdot \omega_K \cdot f_{тер}}{\eta_K \cdot 1000}, \text{ кВт}$$

де $G_{см}$ – вага бетонної суміші, що піднімається під дією сил тертя, $G_{см} = V_{заг} \cdot \rho_0 \cdot g$; h – координата вертикального зміщення (зсуву) маси суміші в корпусі; Z – кількість циркуляцій суміші в корпусі машини; ω_K – кутова швидкість обертання корпусу змішувача; $f_{тер}$ – коефіцієнт тертя суміші об поверхню корпусу; η_K – к.к.д. приводу корпусу.

Проведено аналіз існуючого обладнання та технологічних комплектів обладнання.

Запропоновано технологічний комплект малогабаритного обладнання для приготування полістирол-бетонної суміші з фібровими волокнами. Розкрито особливості конструкції змішувача, який працює у каскадному режимі.

Приведено залежності для визначення продуктивності та потужності складових технологічного комплексу обладнання.

Література:

1. Polystyrene: synthesis, characteristics, and applications / editor, Cole Lynwood. Chemistry research and applications. Includes bibliographical references and index. ISBN: 978-63321-371-5 (eBook).
2. Бадьин Г. М. Сычев С. А. Современные технологии строительства и реконструкции зданий. СПб.: БХВ-Петербург, 2013. 288 с.: ил.
3. Berendsohn R. New concrete forming methods make better basements. Popular Mechanics, February 1995. P. 75-79.
4. Производство полистиролбетона и блоков. URL: <https://baustoff-zpbi.ru/proizvodstvo-polistirolbetona-i-blokov>.
5. Florillo C. M. Lightweight block, heavyweight insulator. Popular science. May 1990. Vol. 236. №5. P. 106- 107.
6. Shepherd J. M. Be your own contractor and save thousands – 2nd ed. Chicago: Dearborn Financial, 1993.
7. Добронравов С. С., Сергеев С. П. Строительные машины. Учебное пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. школа, 1981. 320 с.
8. Шмиг Р. А., Боярчук В. М., Добрянський І. М., Барабаш В. М. Бетонозмішувач, бетономішалка. Термінологічний словник-довідник з будівництва та архітектури / за заг. ред. Р. А. Шмига. Львів, 2010. 33 С.
9. Строительные технологии Сибири. – Режим доступа: <http://www.sts54.ru/catalog/oborudovanie-dlya-proizvodstva-polistirolbetona/ustanovka-rsg-1000/> (дата звернення 25.02.2020).
10. [10] Технология производства полистиролбетона: обзор процесса изготовления и экономической рентабельности выпуска продукции. URL: <https://beton-house.com/proizvodstvo/na-proizvodstve/tehnologiya-proizvodstva-polistirolbetona-363>.
11. Gilmor E. Homes of foam. Popular Mechanics, March 1987. P. 78-81.
12. Компания «Sunhouse». Строительство и проектирование купольных энергосберегающих домов, отелей и ресторанов. URL: <https://sunhouse.pro/>.
13. Emeljanova I. A., Anishchenko A. I., Virchenko V. V., Subota D. U., Blazhko V. V. Formless concreting new small-size equipment universal technological set energy consumption features determination. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2019. 708. 012005. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/708/1/012005>.
14. Рахманов В. А., Гамза Д. Н., Довжик В. Г., Козловский А. И., Росляк Ю. В. Мобильный комплекс оборудования для изготовления полистиролбетона. Патент на изобретение RU 2182866 C2, 27.05.2002. Заявка № 2000108694/03 от 11.04.2000.
15. Рахманов В. А., Мелихов В. И., Казарин С. К., Карпенко В. В., Росляк Ю. В. Комплекс оборудования завода по производству полистиролбетонных изделий. Патент на изобретение RU 2299803 C2, 27.05.2007. Заявка № 2004117199/03 от 08.06.2004.
16. Албатов А. Ю., Аніщенко А. І. Технологічний комплект обладнання для приготування блоків полістирол-бетонних сумішей. Матеріали 75-ї студентської-наукової конференції Харківського національного університету будівництва та архітектури. Харків: ХНУБА. 2020. С.466-467.