

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 666.9 431

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2025.110.0.33

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕХАНІЧНОГО ПРЕСУ З МЕТОЮ СТАБІЛІЗАЦІЇ
ТИСКУ ПІД ЧАС ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ З ЦЕМЕНТНО-ПІЩАНОЇ
СУМІШІ

Саєнко Л. В., Блажко В. В.

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова

Анотація: у статті розглянуто адаптацію конструкції коліно-важільного пресового механізму преса СМС-294 для стабілізації тиску за напівсухого пресування цементних сумішей. Запропоновано пневматичні та пневмогідрравлічні стабілізатори зусилля, що підвищують однорідність, міцність і довговічність виробів зі шлакоцементу.

Ключові слова: напівсухе пресування, цементно-піщана суміш, коліно-важільний прес, пресове зусилля, пресовий механізм, формування цегли.

Вступ

У зв'язку з актуальними викликами сталого будівництва та пошуком шляхів повторного використання промислових відходів збільшується зацікавленість до виробів на основі шлакоцементного в'язучого, зокрема шлакоцементної цегли. Такий матеріал дозволяє не лише зменшити екологічне навантаження на навколишнє середовище завдяки утилізації доменного або зольного шлаку, а й створити повноцінну альтернативу традиційній силікатній цеглі [1–3].

Аналіз публікацій

Шлакоцементна цегла, виготовлена методом напівсухого пресування, має щільну структуру з підвищеними фізико-механічними показниками. Завдяки високому ущільненню сировинної маси в процесі пресування значно зменшується пористість матеріалу, що безпосередньо впливає на його міцність, морозостійкість і водопоглинання [4–6].

На відміну від традиційної силікатної цегли, виробництво якої передбачає автоклавне твердіння з високим споживанням енергії, пресована шлакоцементна цегла може вироблятися за більш енергоефективною технологією із використанням промислових залишків. Це робить її перспективним матеріалом у контексті циркулярної економіки та ресурсозбереження.

Виробництво цегли на основі цементного в'язучого має низку переваг, як порівняти з силікатною технологією: технологічна адаптивність до децентралізованого виробництва, відсутність автоклавного твердіння, можливість роботи у форматі малих чи мобільних підприємств [7, 8].

Серед ключових переваг, які обґрунтовують актуальність розширення виробництва цегли на основі цементного в'язучого, варто звернути увагу на низку фундаментальних аспектів:

- використання техногенних продуктів (зокрема металургійних шлаків), що зменшує промислові відходи та викиди CO₂ [9];

- природне твердіння з домішками-прискорювачами, що мінімізує енергоспоживання [10, 11];

- можливість швидкого масштабування та запуску локальних виробництв з низькими логістичними витратами;

- висока морозо- та водостійкість (водопоглинання $\leq 8\%$);

- покращена екологічна безпека та знижене вуглецеве навантаження. На відміну від виробництва силікатної цегли, цементні композиції (зокрема з додаванням шлаків) можуть мати на 30–50 % менше викидів CO₂ на одиницю продукції [12, 13];

- висока міцність за короткий час (25–30 МПа протягом 7–14 діб);

- технологічна варіативність складу.

Виробництво цегли на основі шлакоцементного в'язучого може реалізовуватись за декількома технологічними схемами, найпоширенішими з яких є вібраційне формування, вібропресування та напівсухе пресування. Кожна з цих технологій має свої переваги, обмеження та доцільність застосування залежно від ресурсної бази, виробничих потужностей і цільових показників готового виробу.

Метод вібраційного формування є найпростішим за обладнанням – достатньо майданчика, що вібрує, та форм, що робить його зручним для малих і експериментальних ви-

робництв [14–17]. Недолік методу – потреба в підвищеному водоцементному співвідношенні для забезпечення зручновкладальності суміші, навіть із пластифікаторами. Це спричиняє збільшення витрат цементу, зниження міцності виробів, їх усадку та погіршення морозо- й водостійкості. Крім того, технологія потребує використання великої кількості змінних форм, що ускладнює виробничий процес, підвищує витрати на оснащення та знижує загальну продуктивність. Незважаючи на простоту обладнання, технологія вібраційного формування не відповідає сучасним вимогам до якості та ефективності виробництва.

Вібропресування – поширена технологія у виробництві бетонних і шлаковмісних виробів завдяки відносно низькій вартості обладнання та можливості автоматизації. Недолік – недостатня міцність сирцю для штабелювання, що вимагає великої кількості піддонів, стелажів, значних площ для твердіння та складної внутрішньоцехової логістики.

Напівсухе пресування за низького водоцементного співвідношення (0,10–0,15) забезпечує високу щільність і міцність сирцю, що дозволяє одразу штабелювати готові вироби до транспортних пакетів та доставляти споживачеві без додаткових операцій, скорочуючи цикл виробництва й логістичні витрати [18].

Напівсухе пресування, хоч і потребує дорожчого обладнання, у серійному виробництві забезпечує менші витрати на одиницю продукції, високу стабільність характеристик, морозо- та водостійкості, а також можливість використання техногенних компонентів у в'язучому.

Серед методів формування шлакоцементної цегли воно є найбільш ефективним щодо енергозбереження, якості та логістики, відповідно до принципів сталого розвитку – зменшення CO₂-викидів, утилізації відходів та енергозалежності. Технологія успішно застосовується у виробництві силікатної цегли, кераміки та вогнетривів, однак її впровадження у виготовлення шлакоцементної цегли стримується недостатнім вивченням особливостей формування з цієї сировини [19, 20].

Дослідження показали, що напівсухе пресування сумішей на основі цементного в'язучого з використанням доменних шлаків як заповнювача дозволяє отримати вироби з високими фізико-механічними показниками вже на початкових етапах твердіння. Зокрема оптимальна вологість суміші для пресування може коливатися в межах 7–12 %, що дозво-

ляє уникнути надмірного споживання води та мінімізує час витримки перед пакуванням. Міцність сирцю досягає 0,5 МПа вже за пресового тиску 10 МПа, що є достатнім для формування транспортних пакетів без додаткових операцій [21].

Відповідно до отриманих результатів, скорочення тривалості виробничого циклу та витрат на зберігання здатне суттєво підвищити ефективність виробництва. Додавання до 30 % кварцового піску в шлакоцементну суміш майже не впливає на міцність, але покращує зовнішній вигляд виробів. Підвищення пресового тиску з 20 до 30 МПа помітно збільшує міцність на стискання, стабільність геометрії та знижує водопоглинання. Виробництво будматеріалів із вторинної сировини, зокрема шлако-піщано-цементних сумішей, набуває актуальності, проте їхня якість значною мірою залежить від стабільності пресового тиску. Стандартні колінно-важільні преси СМС-294, поширені в малих і середніх виробництвах, не забезпечують сталого зусилля, що спричиняє коливання щільності та міцності виробів [22].

Мета та постановка завдання

З огляду на високу чутливість шлакоцементної суміші до умов ущільнення виникає необхідність технічної адаптації цих пресів способом впровадження елементів стабілізації пресового зусилля. Такий підхід дозволяє не лише підвищити однорідність і якість виробів, але й зменшити втрати матеріалу та енерговитрати на переробку бракованої продукції. Саме тому розроблення та впровадження технічних рішень щодо стабілізації тиску в конструкціях механічних пресів є надзвичайно актуальним завданням для розвитку енергоефективного та ресурсозберігального виробництва будівельних матеріалів.

Метою роботи є адаптація конструкції пресового механізму колінно-важільного пресу СМС-294 для формування виробів на основі шлако-піщано-цементної суміші способом забезпечення стабілізації пресового тиску, що суттєво впливає на якість готової продукції.

Результати та обговорення

Для дослідження використовувалася шлакоцементна суміш такого складу (за масовим співвідношенням): гранульований доменний шлак: кварцовий пісок – 4:1, портландцемент – 15 % від маси заповнювачів. Робоча вологість суміші становила 7,5 %, а водоцементне співвідношення (В/Ц) – 0,5.

Таблиця 1 – Вплив пресового тиску на міцність зразків шлакоцементної суміші

Пресовий тиск 20 МПа				Пресовий тиск 30 МПа			
Маса, г	Висота, мм	Густина, г/см ³	Міцність на стискання, МПа	Маса, г	Висота, мм	Густина, г/см ³	Міцність на стиск, МПа
1860	66	1,88	10,8	1850	63	1,96	16,2
1880	66	1,90	10,6	1890	63	2,00	18,2
1860	64	1,94	11,0	1860	63	1,97	16,8
1890	65	1,94	12,4	1900	63	2,01	17,6
Середнє значення		1,92	11,2	Середнє значення		1,98	17,2

Формування зразків здійснювали способом напівсухого пресування на гідравлічному пресі. Для цього використовували прес-форму з розміром вікна 120 × 125 мм. Маса кожного зразка становила 2000 г. Після пресування зразки витримували протягом 27 діб в однакових умовах без термо-вологісного оброблення (ТВО) – за нормальних температурно-вологісних умов лабораторного середовища ($t = 20 \pm 2$ °C, $\phi = 60 \pm 5$ %).

Одним із ключових факторів, що впливають на якість виробів із шлакоцементної суміші, є величина пресового тиску під час формування. З метою визначення її впливу було проведено випробування на стискання зразків, виготовлених зі шлакоцементної суміші, за двох рівнів пресування – 20 та 30 МПа. Результати дослідження міцності на стискання наведено в табл. 1. Наведені дані таблиці свідчать, що зі зростанням пресового тиску з 20 до 30 МПа спостерігається помітне підвищення основних фізико-механічних характеристик шлакоцементних зразків. Зокрема середня густина зразків збільшується з 1,92 до 1,98 г/см³, а міцність на стискання – з 11,2 до 17,2 МПа, що становить приріст більше ніж на 50 %. Це свідчить про суттєвий позитивний вплив підвищеного пресового тиску на щільність структури та загальну якість виробів, підтверджуючи доцільність його використання для покращення експлуатаційних властивостей шлакоцементної цегли, виготовленої методом напівсухого пресування.

Таким чином, однією з ключових умов досягнення стабільно високої якості шлакоцементної цегли є забезпечення сталого рівня пресового тиску під час формування виробів. Найбільш ефективно цю умову реалізують гідравлічні преси, які забезпечують постійне зусилля незалежно від варіацій у властивостях суміші чи маси засипки. Водночас такі установки мають низку суттєвих обмежень: вони є складними в обслуговуванні, вітчизняною промисловістю серійно не виробляються та є високовартісними.

Натомість механічні преси з кривошипно-шатунним приводом, які є більш розповсюдженими, демонструють значні коливання величини пресового тиску. Ці коливання зумовлені як фізико-механічними властивостями формувальної суміші, так і нерівномірністю її засипки до пресформи. Як доводять численні вимірювання, тиск у таких системах може змінюватися в широкому діапазоні – до ± 50 % і більше, що негативно позначається на однорідності та якості готових виробів.

У зв'язку з цим, протягом останніх років здійснюються спроби модернізації механічних пресів способом інтеграції спеціальних стабілізаторів тиску, які б надавали їм властивостей, аналогічних гідравлічним системам. Основний принцип таких стабілізаторів полягає у введенні кінематичних елементів, здатних змінювати свої геометричні параметри залежно від величини пресового зусилля Q , тим самим регулюючи процес пресування та висоту сформованого виробу. Проте на сьогодні ці технології ще не досягли необхідного рівня надійності та практичної реалізації.

У коліно-важільному пресі револьверного типу СМС-294А таким елементом, здатним забезпечити регулювання пресового тиску, є розрізний шатун (рис. 1), довжина $l_{ш}$ якого збільшується після досягнення попередньо заданого зусилля $P_{ш}$.

Пружний елемент, який з'єднує обидві половини шатуна, може бути у вигляді пружини, гідравлічного або пневматичного циліндра. Гідро- та пневмоциліндри в робочому діапазоні майже не мають жорсткості, тобто під час розкриття шатуна не створюють додаткового зусилля.

Доцільність застосування стабілізатора пресового тиску в механічному пресі для виготовлення шлакоцементної цегли є очевидною з огляду на доведений вище істотний вплив тиску пресування на якість готової продукції.

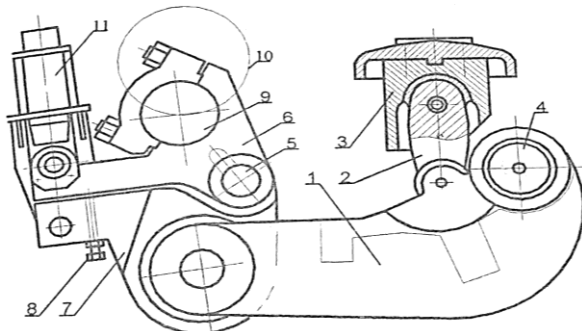


Рис. 1. Конструкція механізму пресування коліно-важільного преса с розрізним шатуном: 1 – важіль пресового механізму; 2 – серга; 3 – поршень що пресує; 4 – вісь важеля, що жорстко зв'язана з рамою преса; 5 – вісь розрізного шатуна; 6 – верхня частина розрізного шатуна; 7 – нижня частина розрізного шатуна; 8 – болт, що регулює довжину шатуна; 9 – шийка колінчастого вала; 10 – траєкторія руху шийки колінчастого вала; 11 – гідро- чи пневмоциліндр

Для аналізу працездатності стабілізатора в конструкції механічного преса було запропоновано методику визначення залежності $Q = f(\varphi)$, де φ – кут повороту кривошипа (рис. 2).

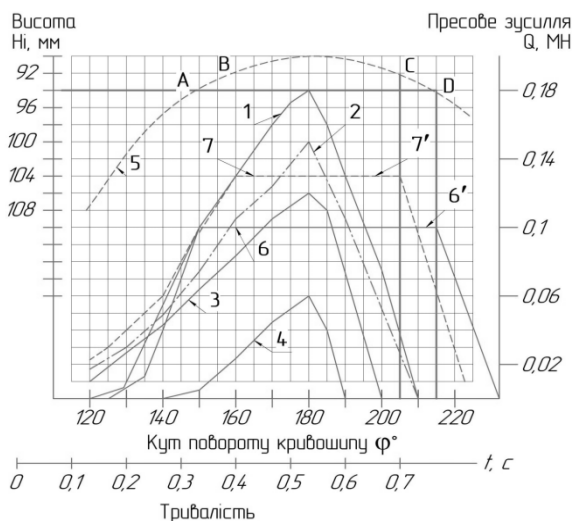


Рис. 2. Залежність пресового зусилля від кута повороту кривошипа (пресування потовщеної цегли на пресі СМС-294А): 1, 2, 3, 4 – залежність $Q = f(\varphi)$, за остаточної густини $\gamma_{\max} = 2,09; 2,06; 2,03; 1,94 \text{ г/см}^3$; 5 – криві залежності висоти цегли, що пресується, від кута повороту; 6, 7 – різні рівні стабілізації пресового зусилля (1 МН і 1,3 МН); 6', 7' – високі рівні пресового зусилля в зоні початку зворотного процесу механізму пресування; А, В – початок зміни довжини одного з елементів механізму пресування за різного рівня стабілізації Q; С, D – кінець процесу стабілізації

Зазначена методика передбачає попереднє експериментальне визначення так званої компресійної кривої – залежності тиску q від густини γ (рис. 3), що будуватиметься для конкретної бетонної суміші. Компресійну криву рекомендується отримувати на гідравлічному пресі з використанням пресформи, отвір якої максимально наближений за розмірами до габаритів цегли.

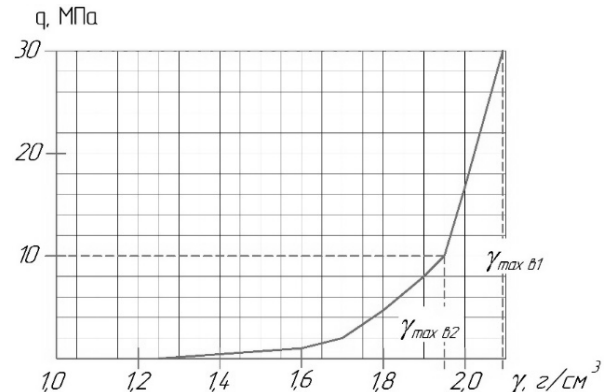


Рис. 3. Компресійна крива бетонної суміші $q = f(\gamma)$: 1 – похила ділянка на початку пресування; 2 – ділянка експоненціального росту тиску на завершальному етапі пресування; $\gamma_{\max B2}$, $\gamma_{\max B1}$ – остаточної щільності пресованої цегли за максимальних пресових тисків, відповідно, 30 і 10 МПа

З'ясовано, що для отримання достовірних результатів менший розмір отвору пресформи в площині має перевищувати розмір найбільшої частинки суміші щонайменше в десять разів. Висота зразка шлакоцементної суміші після завершення процесу ущільнення не має перевищувати 1,5–2 гідравлічні радіуси R , де R – це співвідношення площі поперечного перерізу пресформи до її периметра.

Запропонована методика ґрунтується на використанні паспортної характеристики преса – залежності висоти H цеглини в процесі пресування від кута повороту кривошипа φ , тобто $\varphi-H_i = f(\varphi)$.

Для кожного значення φ та відповідної висоти H_i обчислюється поточна густина γ_i :

$$\gamma_i = \frac{m_g}{F \cdot H_i} = \gamma_{\max g} \cdot \frac{H_g}{H_i} = \gamma_{\max g} \cdot K_{ni},$$

де m_g , H_g – маса та висота виробу, що пресується; F – площа отвору пресформи; $\gamma_{\max g}$ – остаточної густина запресованої цегли; K_{ni} – коефіцієнт висоти виробу залежно від φ .

На наступному етапі за компресійною кривою визначається значення тиску q_i , що відповідає знайденому значенню густини γ_i . Після цього обчислюється пресове зусилля за формулою $Q_i = F \cdot z \cdot q_i$, де z – кількість цеглин, що пресуються одночасно.

У першому наближенні, нехтуючи деформацією елементів пресового механізму, висоту цеглин H_i можна вважати такою, що не залежить від зусилля Q_i . Остаточне значення густини цегли $\gamma_{\max}$ в визначає набір кривих $Q_i = f(\varphi)$, приклад яких подано на рис. 2.

Зіставити ці значення з конкретними рівнями пресового тиску можна за компресійною кривою. Наприклад, значення густини $\gamma_{\max}$ в $2,09 \text{ г/см}^3$ відповідає тиску $q = 30 \text{ МПа}$ для суміші, компресійна крива якої наведена на рис. 3.

Приклад розрахунку: для кута $\varphi = 150^\circ$, початкова висота цеглини – $H_i = 94 \text{ мм}$, кінцева – $H_b = 90 \text{ мм}$ (згідно з кривою 1 на рис. 2). Обчислена густина: $\gamma_i = 2,09 \cdot 90/94 = 2,00 \text{ г/см}^3$. Відповідний тиск за компресійною кривою: $q = 16,5 \text{ МПа}$, тоді пресове зусилля $Q = 16,5 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 104 = 990 \text{ кН}$ (де $z = 2$ – кількість одночасно формованих цеглин, площа пресформи – $F = 120 \times 125 = 3 \cdot 104 \text{ мм}^2$).

Варто зазначити, що різниця в масі засипаної суміші для кривих 1 і 4 на рис. 2 становить лише 400 г (5640 г проти 5240 г), однак відповідний пресовий тиск відрізняється втричі.

Застосування стабілізатора, що діє з оптимальною швидкістю, дозволяє обмежити максимальне пресове зусилля заздалегідь заданим рівнем, наприклад, 1000 кН (див. рис. 2).

Аналіз графіків на рис. 2 демонструє таке:

- стабілізація пресового процесу триває протягом надзвичайно короткого часу – зміна довжини однієї з ланок механізму має відбутися орієнтовно за 0,1 с;

- зменшення цільового рівня стабілізованого зусилля вимагає збільшення часу як процесу стабілізації, так і загального процесу роботи преса;

- зі зниженням зусилля значно скорочується ефективний період пресування – час дії тиску, не меншого за 20 % від максимального значення ($\geq 0,2 q_{\max}$);

- у випадку застосування стабілізатора тривалість ефективного пресування збільшується завдяки додатковому часу в зоні початку зворотного процесу. Проте в цій зоні зусилля збільшується, що призводить до

збільшення зворотного крутного моменту на кривошипі, що може спричинити небажані ефекти – ударні навантаження та інші негативні явища;

- зменшення стабілізованого пресового зусилля також сприяє збільшенню зворотного крутного моменту внаслідок збільшення плече сили.

Таким чином, у процесі конструювання та налаштування стабілізатора пресового механізму необхідно враховувати компроміс між бажаним рівнем стабілізації тиску та кінематико-силовими обмеженнями механізму.

Раціональний вибір параметрів стабілізатора має забезпечити не лише стабільність пресового зусилля, але й уникнення надмірних динамічних навантажень, що можуть впливати на надійність і довговічність роботи преса.

Висновки

Визначено, що пресовий тиск є одним із визначальних факторів, що впливають на щільність і міцність виробів зі шлакопідшано-цементної суміші, сформованих методом напівсухого пресування. Тому забезпечення його стабільності є критично важливим для отримання якісної продукції.

В умовах використання колінно-важільного механізму преса СМС-294 доцільним є впровадження стабілізатора пресового зусилля, що дозволить зменшити коливання тиску в процесі формування та підвищити однорідність фізико-механічних властивостей виробів.

Для визначення раціональних параметрів стабілізатора запропоновано методику розрахунку пресового зусилля, що ґрунтується на компресійній кривій бетонної суміші. Вона враховує кінематику пресового механізму та дозволяє змодельовати навантаження протягом циклу пресування.

Особливістю напівсухого пресування є експоненційне збільшення тиску на завершальній фазі ущільнення, що потребує використання високошвидкісних стабілізаторів. Найперспективнішими в цьому аспекті є пневматичні та пневмогідрравлічні системи.

Отримані результати можуть бути використані для подальшої адаптації конструкцій механічних пресів у процесі виробництва будівельних виробів зі шлакоцементних сумішей в умовах дотримання вимог до сталості та керованості процесу ущільнення.

Література

1. Луців Н. Ринок цементу в Україні: сучасний стан і перспективи післявоєнної відбудови. *Вісник Львівського університету. Серія «Економіка»*. 2024. Вип. 66. С. 203–212.
2. Guo Y., Xie J., Zheng W., Li J. Effects of steel slag as fine aggregate on static and impact behaviours of concrete. *Construction and Building Materials*. 2018. № 20. P. 194–201.
3. Santamaría A., Revilla-Cuesta V., Skaf M., Romera J. M. Full-scale sustainable structural concrete containing high proportions of by-products and waste. *Case Studies in Construction Materials*. 2023. Vol. 18. 02142.
4. Ye W., Feng T., Sun W., Gómez-Zamorano L. Y. Enhancing steel slag cement mortar performance under low-temperature curing through alkali activation: mechanisms and implications. *Frontiers in Materials*. 2025. Vol. 12. 1576078.
5. Chen D., Wu F., Kuang L., Niu Q., Xiao X., Zhu X. One step resource utilization treatment of solid waste: preparation of high-performance building bricks from calcium carbide slag by ultra-high mechanical pressure. *Ceramics International*. 2025. Vol. 51(5). P. 5736–5746.
6. Wang M., Xu J., Zhang X., Tan L., Mei Y. Mechanical performance optimization and microstructural mechanism study of alkali-activated steel slag-slag cementitious materials. *Buildings*. 2024. Vol. 14(5). 1204.
7. Anishchenko A., Aleinikova A., Kovalenko A., Nesterenko M., Nesterenko T. Technological package of the small-sized equipment for preparation of products from polystyrene-concrete mixture. In *AIP Conference Proceedings*. 2023. Vol. 2490(1). P. 050027.
8. Emeljanova I., Blazhko V., Shatokhin V. C. D., Kabanets D. Features of creation of universal technological sets of the small-sized equipment for conditions of a building site. *Науковий вісник будівництва*. 2017. Вип. 90(4). 136–144.
9. Liu Y., Su Y., Xu G., Chen Y., You G. Research progress on controlled low-strength materials: metallurgical waste slag as cementitious materials. *Materials*. 2022. Vol. 15(3). 727.
10. Gupta V., Chai H. K., Lu Y., Chaudhary S. A state of the art review to enhance the industrial scale waste utilization in sustainable unfired bricks. *Construction and building materials*. 2020. Vol. 254. 119220.
11. Wang Y., Abuel-Naga H. Unfired Bricks from Wastes: A Review of Stabiliser Technologies. Performance Metrics, and Circular Economy Pathways. *Buildings*. 2025. 15(11). P. 2075–5309.
12. Asif M., Saleem S., Tariq A., Usman M., Haq R. A. U. Pollutant emissions from brick kilns and their effects on climate change and agriculture. *ASEAN Journal of Science and Engineering*. 2021. Vol. 1(2). C. 135–140.
13. Singh S., Maiti S., Bisht R. S., Panigrahi S. K., Yadav S. Large CO₂ reduction and enhanced thermal performance of agro-forestry, construction and demolition waste based fly ash bricks for sustainable construction. *Scientific Reports*. 2024. 14(1). 8368.
14. Назаренко І., Дьяченко О., Нестеренко М. Аналіз параметрів процесу ущільнення бетонного розчину і бігунтування конструкцій дебалансного віброзбудника зі змінними параметрами. *Техніка будівництва*. 2025. Вип. 42. С. 102–115.
15. Sholanke A. B., Fagbenle O. I., Aderonm P. A., Ajagbe A. M. Sandcrete block and brick production in Nigeria-prospects and challenges. *IARD International Journal of Environmental Research*. 2015. Vol. 1(4). С. 1–17.
16. Gordienko A., Emelianenko N., Saienko L., Younis B., Dobrokhodova O. Study of a dual frequency vibration press for the formation of concrete elements. In *IOP Conference Series: materials Science and Engineering*. 2021. Vol. 1164(1). P. 012067.
17. Нестеренко М., Ведмідь В. Дослідження впливу вертикальних вібраційних режимів на взаємодію робочого органу віброплощадки з бетонною сумішшю. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. 2025. Вип. 2(151). С. 182–188.
18. Stolboushkin A. Y., Ivanov A. I., Fomina O. A., Fomin A. S., Storozhenko G. I. Principles of optimal structure formation of ceramic semi-dry pressed brick. *Advanced Materials, Mechanical and Structural Engineering, Taylor & Francis Group, London*. 2016. P. 87–90.
19. Fayed E. K., El-Hosiny F. I., El-Kattan I. M., Al-Kroom H., Abd Elrahman M., Abdel-Gawwad H. A. An innovative method for sustainable utilization of blast-furnace slag in the cleaner production of one-part hybrid cement mortar. *Materials*. 2021. Vol. 14(19). P. 5669.
20. Zalyhina V., Cheprasova V., Romanovski V. Paper industry slag for the production of building ceramics. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*. 2022. Vol. 97(11). P. 3091–3099.
21. Особливості організації будівництва при зведенні цегляних будівель / О. М. Назаренко та ін. *Тиждень науки-2023: тези доповідей науково-технічної конференції (м. Запоріжжя, 24–28 квітня 2023 р.)*. Запоріжжя, 2023. С. 97–101.
22. Wei H., Yan L., Lu C., Wen Z., Yang Y., Lu C., Zhou Q. Effects of mixture proportions and molding method on the performance of pervious recycled aggregate concrete. *Materials*. 2024. Vol. 17(21). 5138.

References

1. Lutsiv, N. (2024). Rynok tsementa v Ukraine: sovremennoye sostoyaniye i perspektivy poslevoyennogo vosstanovleniya [The Cement Market in Ukraine: Current State and Prospects for Post-War Reconstruction]. *Vestnik L'vovskogo univer-*

- siteta. *Seriya ekonomichna*, 66. 203–212 [in Ukrainian].
2. Guo, Y., Xie, J., Zheng, W., Li, J. (2018). Effects of steel slag as fine aggregate on static and impact behaviours of concrete. *Construction and Building Materials*. 20. 194–201.
 3. Santamaria, A., Revilla-Cuesta, V., Skaf, M., Romero, J. M. (2023). Full-scale sustainable structural concrete containing high proportions of by-products and waste. *Case Studies in Construction Materials*. 18, 02142.
 4. Ye, W., Feng, T., Sun, W., Gómez-Zamorano, L. Y. (2025). Enhancing steel slag cement mortar performance under low-temperature curing through alkali activation: mechanisms and implications. *Frontiers in Materials*. 12. 1576078.
 5. Chen, D., Wu, F., Kuang, L., Niu, Q., Xiao, X., Zhu, X. (2025). One step resource utilization treatment of solid waste: preparation of high-performance building bricks from calcium carbide slag by ultra-high mechanical pressure. *Ceramics International*. 51(5). 5736–5746.
 6. Wang, M., Xu, J., Zhang, X., Tan, L., Mei, Y. (2024). Mechanical performance optimization and microstructural mechanism study of alkali-activated steel slag-slag cementitious materials. *Buildings*, 14(5), 1204.
 7. Anishchenko, A., Aleinikova, A., Kovalenko, A., Nesterenko, M., Nesterenko, T. (2023). Technological package of the small-sized equipment for preparation of products from polystyrene-concrete mixture. In *AIP Conference Proceedings*. 2490(1). 050027.
 8. Emeljanova, I., Blazhko, V., Shatokhin, V. C. D., Kabanets, D. (2017). Features of creation of universal technological sets of the small-sized equipment for conditions of a building site. *Naukovyi visnyk budivnytstva*, 90(4). 136–144 [in Ukrainian].
 9. Liu, Y., Su, Y., Xu, G., Chen, Y., You, G. (2022). Research progress on controlled low-strength materials: metallurgical waste slag as cementitious materials. *Materials*. 15(3). 727.
 10. Gupta, V., Chai, H. K., Lu, Y., Chaudhary, S. (2020). A state of the art review to enhance the industrial scale waste utilization in sustainable unfired bricks. *Construction and building materials*. 254. 119220.
 11. Wang, Y., Abuel-Naga, H. (2025). Unfired Bricks from Wastes: A Review of Stabiliser Technologies, Performance Metrics, and Circular Economy Pathways. *Buildings*. 15(11). 2075–5309.
 12. Asif, M., Saleem, S., Tariq, A., Usman, M., Haq, R. A. U. (2021). Pollutant emissions from brick kilns and their effects on climate change and agriculture. *ASEAN Journal of Science and Engineering*. 1(2). 135–140.
 13. Singh, S., Maiti, S., Bisht, R. S., Panigrahi, S. K., Yadav, S. (2024). Large CO₂ reduction and enhanced thermal performance of agro-forestry, construction and demolition waste based fly ash bricks for sustainable construction. *Scientific Reports*. 14(1). 8368.
 14. Nazarenko, I., D'yachenko, Ye., Nesterenko, M. (2025). Analiz parametrov protsessa uplotneniya betonnoho rastvora i obosnovaniye konstruktivnykh debalansnogo vibrovobudatelya s peremennymi parametrami [Analysis of parameters of the process of compaction of concrete mortar and justification of designs of an unbalanced vibration exciter with variable parameters]. *Tekhnika stroitel'stva*. 42. 102–115 [in Ukrainian].
 15. Sholanke, A. B., Fagbenle, O. I., Aderonm, P. A., Ajagbe, A. M. (2015). Sandcrete block and brick production in Nigeria-prospects and challenges. *IJAR International Journal of Environmental Research*, 1(4). 1–17.
 16. Gordienko, A., Emelianenko, N., Saienko, L., Younis, B., Dobrokhodova, O. (2021). Study of a dual frequency vibration press for the formation of concrete elements. *IOP Conference Series: materials Science and Engineering*. 1164(1). 012067.
 17. Nesterenko, M., Medved', V. (2025). Issledovaniye vliyaniya vertikal'nykh vibratsionnykh rezhimov na vzaimodeystviye rabocheho organa vibroploshchadki s betonnoy smes'yu [Research on the influence of vertical vibration modes on the interaction of the working body of the vibrating platform with the concrete mixture]. *Vestnik KrNU imeni Mikhaïla Ostrogradskogo*. 2(151). 182–188 [in Ukrainian].
 18. Stolboushkin, A. Y., Ivanov, A. I., Fomina, O. A., Fomin, A. S., Storozhenko, G. I. (2016). Principles of optimal structure formation of ceramic semi-dry pressed brick. *Advanced Materials, Mechanical and Structural Engineering*, Taylor & Francis Group, London, 87–90.
 19. Fayed, E. K., El-Hosiny, F. I., El-Kattan, I. M., Al-Kroom, H., Abd Elrahman, M., Abdel-Gawwad, H. A. (2021). An innovative method for sustainable utilization of blast-furnace slag in the cleaner production of one-part hybrid cement mortar. *Materials*, 14(19), 5669.
 20. Zalyhina, V., Cheprasova, V., Romanovski, V. (2022). Paper industry slag for the production of building ceramics. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 97(11). 3091–3099.
 21. Nazarenko, O. M., Ishchenko, O. L., Lerner, O. A., Dzyuba, A. L., Lyfanenkov, O. O. (2023). Osoblyvosti orhanizatsiyi budivnytstva pry zvedeni tsehlyanykh budivel' [Peculiarities of construction organization during the erection of brick buildings]. *Tyzhden' nauky-2023: tezy dopovidey naukovotekhnichnoyi konferentsiyi* (Zaporizhzhya, 24–28 Kvitnya, 2014). 97–101 [in Ukrainian].
 22. Wei, H., Yan, L., Lu, C., Wen, Z., Yang, Y., Lu, C., Zhou, Q. (2024). Effects of mixture proportions and molding method on the performance of pervious recycled aggregate concrete. *Materials*. 17(21). 5138.

технологій, saenko_l@ukr.net,
тел. +38 050 915-27-90,

Блажко Володимир Володимирович, к.т.н., доц.
каф. автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих
технологій, blagko-2008@ukr.net,
тел. +38 097 53-46-097

Харківський національний університет міського
господарства імені О. М. Бекетова, вул. Чорног-
лазівська, 17, 61002, м. Харків, Україна/

Improvement of a Mechanical Press for Pressure Stabilization During the Production of Cement-Sand-Based Products

Problem. Semi-dry pressing of slag-cement mixtures offers significant environmental and economic advantages, but the quality of finished products strongly depends on the stability of pressing pressure. Conventional toggle-type mechanical presses, such as SMS-294, show large fluctuations in pressing force, resulting in non-uniform density, reduced strength, and defects in products. **Goal.** The study aims to adapt the design of the SMS-294 press mechanism to stabilize the pressing pressure during the production of slag-cement bricks, thereby ensuring improved homogeneity, strength, and durability. **Methodology.** Experimental tests on slag-cement mixtures with varying pressing pressures (20–30 MPa) were combined with analytical modeling. A methodology was proposed for calculating pressing force as a function of crank angle, using compression curves of the mixture and kinematic parameters of the press. The integration of pneumatic or pneumo-hydraulic stabilizers into the press design was analyzed as a solution for force stabilization. **Results.** Increasing pressing pressure from 20 to 30 MPa raised compressive

strength from 11.2 to 17.2 MPa and average density from 1.92 to 1.98 g/cm³. The introduction of a stabilizer reduced pressure fluctuations, extended the effective pressing phase, and improved the dimensional accuracy of formed bricks. The approach demonstrated the feasibility of achieving near-hydraulic press quality with a mechanical press at a lower cost. **Originality.** The research introduces a novel method for stabilizing pressing force in toggle-type mechanical presses through adaptive stabilizers, supported by a calculation algorithm based on compression curves and kinematic analysis. **Practical value.** The proposed solution enhances product quality, reduces waste, and lowers production energy costs. It enables decentralized or mobile brick production using secondary raw materials, aligns with circular economy principles, and contributes to reducing the carbon footprint of building material manufacturing.

Keywords: semi-dry pressing, cement-sand mixture, knee-lever press, pressing force, pressing mechanism, brick forming.

Saenko Leonid, Ph.D., Assoc. Prof. of the
Department of Automation and Computer-Integrated
Technologies, ORCID: 0000-0002-3802-3078,
saenko_l@ukr.net

Blazhko Volodymyr, Ph.D., Assoc. Prof. of the
Department of Automation and Computer-Integrated
Technologies, ORCID: 0000-0002-5649-9379,
blagko-2008@ukr.net
Kharkiv National University of Urban Economy
named after O. M. Beketov, 17 Chornoglazivska St.,
61002, Kharkiv, Ukraine.