



Міністерство освіти і науки України
Київський національний університет
будівництва і архітектури

Кафедра технологій захисту навколишнього середовища
та охорони праці

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного
простору НАН України
Київська обласна рада



Підкомітет з питань містобудування, благоустрою та земельних
відносин у межах території забудови Комітету Верховної ради
України з питань організації державної влади, місцевого
самоврядування, регіонального розвитку та містобудування
Державне підприємство «Науково-дослідний та
конструкторсько-технологічний інститут міського
господарства»



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



Одеський державний екологічний університет
Національний університет «Львівська політехніка»

Національний університет
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потєбні
Запорізького національного університету

Донбаська національна академія будівництва і архітектури
(Краматорськ)

Академія будівництва України

Академія технічних наук України

Художня студія 22 ART HUB

Національна спілка журналістів України

International Technology Transfer Association (ITTA)

Агенція відбудови України

Ченстоховська політехніка

Азербайджанський архітектурно-будівельний університет

Грузинський технічний університет



Матеріали

II Міжнародної науково-практичної конференції «Green Construction»

Генеральний спонсор
Художня студія 22 ART HUB



Медійна підтримка

interfax-УКРАЇНА
ІНФОРМАЦІЙНЕ АГЕНТСТВО



ПЕРШИЙ • УКРАЇНСЬКИЙ • ІНФОРМАЦІЙНИЙ



Київ 2023
13-14 квітня

Воронкова В.Г., Нікітенко В.О. ГЛОБАЛЬНА ЗМІНА КЛІМАТУ ЯК ОДИН ІЗ НАЙБІЛЬШИХ ВИКЛИКІВ ЛЮДСТВУ ХХІ СТОЛІТТЯ	431
Гайдабура Є.І., Летченко А.В., Кормільцін О.В., Тумак В.С., Журавська Н.Є. ЕКОСИСТЕМИ ВОДОЙМ ТА СТІЙКІСТЬ ЕКОСИСТЕМ ПЛАНЕТИ	437
Голякова І.В., Петренко В.О., Петренко А.О. ЗЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМ ЖИТТЄЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВЕЛЬ В «ЗЕЛЕНОМУ БУДІВНИЦТВІ»	442
Гулай Б.І., Шаповал С.П., Бундзило В.П. ЕФЕКТИВНІ СИСТЕМИ ВЕНТИЛЯЦІЇ ПІДЗЕМНИХ УКРИТТІВ ТА ЗАКРИТИХ ФОРТИФІКАЦІЙНИХ СПОРУД	447
Dzhumelia E., Kochan O., Dzhumelia V. REUSING WASTE FROM ENTERPRISES: CASE STUDY OF MINING AND CHEMICAL ENTERPRISE IN LVIV REGION (UKRAINE)	450
Добровольська О.Г., Чудновський П.Б. ПРО СТРАТЕГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ МЕРЕЖ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВОДИ	454
Бай С.І., Єлісеєв В.С. РЕЛОКАЦІЯ ПРАЦІВНИКІВ ПІД ЧАС ВОЄННОГО СТАНУ І ЇЇ ВПЛИВ НА ДІЯЛЬНІСТЬ ПІДПРИЄМСТВ	458
Запальський В.М., Пулашкін В.Ю. СТРУКТУРА АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ КОМПЛЕКСОМ З ПЕРЕТВОРЕННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	461
Karpenko T., Dudar T. MEASURES REGARDING THE RATIONAL USE OF NATURAL RESOURCES	465
Pushkarova K., Kryvenko O., Kochevykh M., Motsna D. ENVIRONMENTAL FEASIBILITY OF USING GREEN CONSTRUCTIONS IN UKRAINE	468
Кравчук А.М., Кравчук О.А. РОЗРАХУНОК РОЗПОДІЛЬЧИХ ДРЕНАЖНИХ ТРУБОПРОВОДІВ, ПРОКЛАДЕНИХ З ПОХИЛОМ	472
Крот О.Ю., Пуховой О.В., Крот О.П. ПЕРСПЕКТИВИ ЗМЕНШЕННЯ ОБ'ЄМІВ ВИКИДІВ ВУГЛЕЦЕВОГО ГАЗУ З ПЕЧЕЙ ВИРОБНИЦТВ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ШЛЯХОМ ЙОГО ЗАЛУЧЕННЯ У ПРОЦЕС СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ БУДІВЕЛЬНИХ ВИРОБІВ	476
Кушка О.М., Степова Н.Г., Любенко В.В., Бодак В.Ю. ПОРІВНЯННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДИК РОЗРАХУНКУ ВНУТРІШНІХ МЕРЕЖ БУДИНКІВ	481
Лаврухіна К.О., Грикун В.А. СТРУКТУРНА МОДЕРНІЗАЦІЯ КЛАСТЕРІВ В ЕКО-ІНДУСТРІАЛЬНІ ПАРКИ ЗА УМОВ ЦИФРОВІЗАЦІЇ БІЗНЕСУ	486

2. Schultz B., Thatte C. D., Labhsetwar V. K. Irrigation and drainage. Main contributors to global food production // Irrigation and Drainage. 2005. Vol. 54, No 3. P. 263-278.

3. Castellano M. J., Archontoulis S. V., Helmers, M. J., [Poffenbarger](#), H. J., Six J. Sustainable intensification of agricultural drainage // Nature Sustainability. 2019. No 2. P. 914-921.

4. Cherniuk V., Hnativ R., Kravchuk O., Orel V., Bihun I., Cherniuk M. The problem of hydraulic calculation of pressure distribution pipelines // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. Vol. 6, No 7 (114). P. 93-103.

5. Кравчук А. М., Чернишев Д. О., Кравчук О. А. Гідравліка напірних перфорованих трубопроводів очисних споруд систем водопостачання та водовідведення: монографія. Київ: КНУБА, 2021. 204 с.

6. Олейник А. Я., Поляков В. Л. Дренаж переувлажненних земель. Київ: Наукова думка, 1987. 279 с.

7. Кравчук О. А. До гідралічного розрахунку напірних дренажних трубопроводів, які працюють в режимі роздачі // Комунальне господарство міст. 2021. Вип. 163. С. 68-74.

**ПЕРСПЕКТИВИ ЗМЕНШЕННЯ ОБ'ЄМІВ ВИКИДІВ
ВУГЛЕЦЕВОГО ГАЗУ З ПЕЧЕЙ ВИРОБНИЦТВ БУДІВЕЛЬНИХ
МАТЕРІАЛІВ ШЛЯХОМ ЙОГО ЗАЛУЧЕННЯ У ПРОЦЕС
СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ БУДІВЕЛЬНИХ ВИРОБІВ**

*Крот Олександр Юлійович¹, Пуховой Олександр Вікторович²,
Крот Ольга Петрівна¹*

*¹Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія
Кондратюка», uch.opk@gmail.com*

*²Харківський національний університет міського господарства імені
О. М. Бекетова, alexspuchovoy@gmail.com*

Вуглекислий газ, поряд з метаном і оксидом азоту, є парниковим газом. І вплив саме вуглекислого газу на температуру поверхні планети переважає над іншими впливами. Частка вуглекислого газу в атмосфері за час індустріальної епохи збільшилася на 31% [1]. Зміна клімату через збільшення концентрації цього газу розглядається у ISO 14067:2018 [2].

Технології зменшення концентрації вуглекислого газу ідуть за різними напрямками. Відомими є технології захоплення молекул вуглекислого газу з атмосфери з використанням фільтрів. Може застосовуватись спеціально оброблений целюлозний фільтр, очевидно змочений водою, який, після насичення вуглекислою регенерується нагріванням, звільняючи «чистий» вуглекислий газ [1].

Інший напрям зменшення концентрації вуглекислого газу є можливість непотрапляння великої кількості його в атмосферу взагалі. Утворений у технологічному обладнанні цей газ, особливо у високих концентраціях, може бути використаний у технологіях, де він є потрібним. Великим «постачальником» вуглекислого газу в атмосферу є виробництва цементу та вапна. На кожний 1кг виробленого цементу виробляється від 0,65 до 0,9 кг CO₂ [3] в залежності від способу виробництва («мокрый» чи «сухий») та палива, що застосовується. Це пов'язано, перш за все, з хімією самого процесу – розкладання карбонату кальцію в тепловому агрегаті (рис. 1).

Відносні атомні маси дорівнюють для: кальцію 40, вуглецю 12, кисню 16. Маса молекули CaCO₃ = 40+12+3*16 = 100; маса молекули CO₂ = 12+2*16 = 44. Отже, при розкладанні кальцій-карбонатного мінералу (крейди чи вапняку) 44% від його початкової маси виходить в атмосферу у вигляді вуглекислого газу, а маса готового на цьому етапі продукту – вапна - складає лише 56%.

Помітний внесок у збільшення кількості вуглекислого газу робить і спалювання палива у технології виробництва цементу. Для приблизного розрахунку кількості вуглекислого газу розглянемо згоряння метану (у природному газі його від 80 до 97%): CH₄+2O₂ = CO₂+2H₂O.

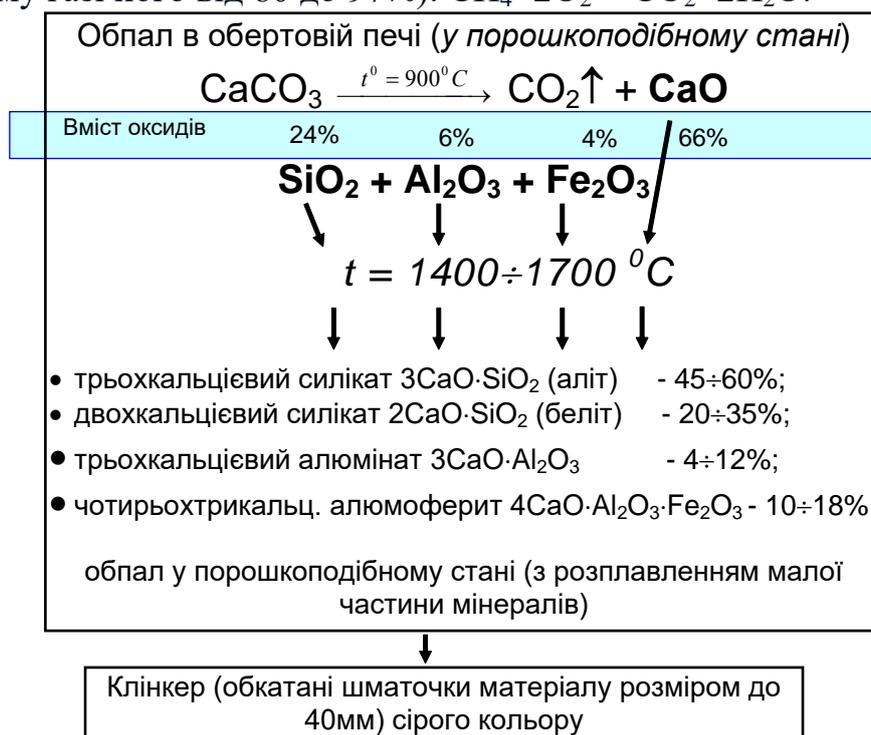


Рис. 1. Фрагмент схеми виробництва цементу

Маса молекули CH₄ = 12+4*1 = 16. Пам'ятаючи, що CO₂ = 44, бачимо, що, залучаючи кисень з повітря, згоряння 16 кг метану приводить до утворення 44 кг вуглекислого газу (різниця у масах 2,75 разів). Орієнтовна питома витрата природного газу складає від 120 до 180 кг на 1000кг цементу (в залежності від способу виробництва і технології). Отже, на кожен тону

цементу утворюється від $120 \cdot 2,75 = 330 \text{ кг}$ до $180 \cdot 2,75 = 495 \text{ кг}$ CO_2 внаслідок спалювання палива. Ефективна організація процесу обпалу цементу здатна помітно зменшити ці об'єми [4], але не розв'язують проблему кардинально.

Застосування вугілля (а не природного газу) для обпалу суттєво збільшує вміст CO_2 у викидах. Не поліпшують ситуацію з утворенням CO_2 і спроби застосування горючих відходів при обпалюванні.

Частка кожного з цих джерел (розклад кальцій-карбонатного мінералу і спалювання) у загальній генерації вуглекислого газу на цементному виробництві складає приблизно 60% і 40% відповідно [3].

Надлишок повітря, необхідного для ефективного спалювання палива, збільшує об'єм викидів, але суттєво зменшує концентрацію CO_2 . Так, наприклад, у печах для обпалу клінкеру і вапняку (у виробництві вапна) ця концентрація може бути від 20 до 40%. Але і ці концентрації є значно більшими, ніж у теплогенераторних установках чи двигунах внутрішнього згоряння, де концентрація CO_2 на виході не перевищує 15%. Концентрація ж CO_2 має суттєве значення для застосування цього газу для процесу карбонізації будівельних матеріалів. Відомо, що швидкість протікання реакції (наприклад, майбутньої карбонізації) залежить від *природи речовин*, що реагують, *концентрації речовин*, *площі контакту речовин*, що реагують, *температури*, наявності і активності *каталізатора*, а у випадку, коли речовини є газоподібними, – ще й від *тиску*. Отже, можливим потенційним шляхом залучення CO_2 до технології виробництва є карбонізація речовини (тобто, процес зворотній до того, що відбувся в тепловому агрегаті): $\text{CO}_2 + \text{CaO} = \text{CaCO}_3$.

Цей процес у будівництві застосовувався здавна. Ще за часів Римської і Візантійських цивілізацій застосовували як в'язучі речовини і пуцолановий «цемент», і гідравлічне вапно. І якщо перший з них природно давав водостійкий цементний камінь після твердіння (і застосовувався навіть для створення гідроспоруд), то гідроксид кальцію (гашене вапно) Ca(OH)_2 вважається повітряним в'язучим, тобто твердіє і зберігає довготривалу міцність у повітрі (не у воді). Але ж гашене вапно поступово схоплюється і втрачає воду під час процесу випаровування, вже знаходячись у складі кам'яної кладки (в тому числі і відбувається процес видалення хімічно зв'язаної води): $\text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$.

У складі кам'яної кладки це відбувається дуже повільно, протягом років. Проте існування вільного CaO відкривало можливості для утворення водостійких і більш міцних матеріалів.

По-перше, можна згадати так звану цем'янку, що застосовувалася нашими предками. Цей матеріал є характерною рисою кам'яної архітектури Київської Русі, зокрема – будівлі Софійського собору та Десятинної церкви. Цем'янка являє собою суміш вапна та подрібнених (або розмелених) шматочків керамічної цегли, основою якої є оксид кремнію SiO_2 (що є основою глини, з якої цегла виробляється). В присутності води

утворюються (хоча й повільно) різноманітні гідросилікати кальцію, що є водостійкими та міцними мінералами; вони зберігають стародавні мури і роблять їх міцнішими з року в рік.

По-друге, навіть без додавання оксиду кремнію відбувається процес зміцнення кладки через утворення карбонату кальцію CaCO_3 . Кладка поглинає вуглекислий газ з повітря, таким чином утворюючи CaCO_3 . Історично та традиційно пришвидшення протікання цього процесу активізували збільшенням кількості і доступності CO_2 , в тому числі і всередині бетону [5], навіть не знаючи «хімії» протікання цього процесу. Збільшення вмісту CO_2 у складі бетону досягалося додаванням яєчних білків; оптимальним вважається додавання білків у кількості 6% за масою від маси вапна [5]. Сучасні способи залучення вуглекислого газу до бетону можна розділити на два напрями: 1. залучення вуглекислого газу на етапі приготування бетонної суміші для її використання безпосередньо на будівельному майданчику; 2. залучення на етапі твердіння сформованого виробу на підприємстві. За першим напрямом працює, наприклад, компанія CarbonCure [6]. За цією технологією CO_2 подається у змішувальну установку. За даними цієї компанії у середньому виробники, які використовують готову суміш CarbonCure, знижують вміст цементу на 4-6% без шкоди для якості та продуктивності бетону. Очевидно, що час взаємодії CO_2 з бетоном у цьому випадку обмежений часом перебування у змішувальній установці, а час – одна з складових повноти протікання реакції. За другим напрямком відомо значно більше досліджень. Тут можна поєднувати і підвищену *концентрацію речовин*, і великі *площі контакту речовин*, що реагують (наприклад, пінобетон чи газобетон), і вплив *температури* (застосування пропарювальної камери або автоклава), і *тиску* (застосування автоклава). При цьому CO_2 в процесі приготування суміші може бути застосовано також. Твердіння у вуглекислотному середовищі можна певною мірою розглядати як заміну автоклавного твердіння цегли, що традиційно називається силікатним, а також автоклавного твердіння газобетонних виробів. Утворення гідросилікатів кальцію при автоклавному твердінні проілюстровано наступною формулою: $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{SiO}_2 + m\text{H}_2\text{O} = \text{CaSiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$.

Кількість молекул води у гідросилікаті залежить від багатьох факторів і пояснює велику різноманітність гідросилікатів кальцію. Принципова схема виробництва силікатної цегли (рис. 2).

Є кілька причин вважати саме виробництва силікатної цегли та газобетону вважати потенційною базою розвитку технології вуглекислотного твердіння будівельних виробів.

По-перше, ці вироби є популярними в Україні через те, що кварцовий пісок є досить доступним на місцевих кар'єрах; вони є в доступності поблизу цементних заводів і заводів, де у промислових масштабах

здійснюється обпал вапняку (заводи силікатних виробів, цукрові заводи і металургійні комбінати).



W, A – вологість і активність сировинної суміші

Рис. 2. Загальна схема виробництва силікатної цегли [7]

По-друге, загальновідомо, що механічна міцність силікатної цегли, вивантаженої з автоклава, є меншою за ту, яку цегла набуває при подальшому витримуванні її на повітрі. Це пояснюється карбонізацією гідроксиду кальцію (і залишків оксиду кальцію), що відбувається за рахунок вуглекислоти повітря. Отже, процес, що пропонується як перспективний, частково (у незначній мірі) вже зараз реалізується у виробництві силікатної цегли.

Третє, потенційний ресурс автоклавів через певний час (кілька років, максимум десятків років) буде вичерпаний – це апарати високого тиску. Але застосування навіть умовно «старих» автоклавів для відносно малих тисків (до 0,3 МПа (приблизно 3 атм)) буде можливим. Температура в автоклаві при такому значенні тиску буде складати близько 133 градусів. Тривалість автоклавної (чи термовологісної) обробки в середовищі вуглекислого газу може бути більшою, ніж тривалість витримки в автоклаві традиційних силікатних виробів, але час виходу автоклава «на номінальний режим» і час скидання тиску будуть значно меншими.

Четверте, суміші для виробництва силікатних виробів є найбільш перспективними з точки зору підвищення їхньої активності при переробці у механічних активаторах, якими можуть виступати чи стержневі млини, чи дезінтегратори, чи барабанно-валкові машини [8]. Це пояснюється тим, що в'язуча речовина (вапно, оксид кальцію), на відміну від частинок цементу у традиційному портландцементі, дуже легко подрібнюється на найдрібніші елементи і розподіляється навіть серед частинок піску навіть при невеликому (з точки зору енергоємності процесу) механічному впливі. Обробку суміші вуглекислим газом можна починати ще на цьому етапі – етапі механічної активації перед пресуванням.

На погляд авторів доповіді, розглянуті технології мають перспективи розвитку, забезпечуючи не тільки рентабельність виробництва, а й позитивний внесок в екологічне майбутнє у світі.

ЛІТЕРАТУРА

1. R. J. H. Dunn, F. Aldred, N. Gobron, J. B Miller, and K. M. Willett, Eds. State of the Climate in 2020. Global Climate, 2020. 142p.
2. ISO 14067:2018 Greenhouse gases - Carbon footprint of products - Requirements and guidelines for quantification, 2018. 46p.
3. Cement Manufacturing: Ways to Reduce CO₂ Emissions. Mario Honrubia. URL: <https://www.ennomotive.com/cement-manufacturing-emissions/> (дата звернення: 23.03.2023).
4. Eriksson M., Hökfors B., Backman R. Oxyfuel combustion in rotary kiln lime production // Energy Science & Engineering, 2014. №2(4). P. 204-215.
5. Md Azree Othuman Mydin. Preliminary Studies on the Development of Lime-based Mortar with Added Egg White // International Journal of Technology, 2017. № 8(5). P. 800-810.
6. A Win-Win Solution. URL: <https://www.carboncure.com> (дата звернення: 23.03.2023).
7. Савченко О.Г. Обладнання комплексів для виробництва будівельних дрібноштучних стінових виробів. Харків: Вид-во Тимченко, 2006. 416 с.
8. Krot A., Ruchka A., Savchenko O. Analytical Modeling of Oscillations of Movable Operating Elements of a Roll-Drum Activator // International Journal of Engineering & Technology, 2018, Vol 7 (4.3). P. 58-63.

ПОРІВНЯННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДИК РОЗРАХУНКУ ВНУТРІШНІХ МЕРЕЖ БУДИНКІВ

Кушка Олександр Миколайович¹, Степова Наталія Георгіївна², Любенко Володимир Володимирович³, Бодак Владислав Юрійович⁴

¹Київський національний університет будівництва та архітектури,
kushka.om@knuba.edu.ua

²Інститут гідромеханіки НАН України, stepovanataly@yahoo.com

³Київський національний університет будівництва та архітектури,
liubenko.vv@knuba.edu.ua

⁴Київський національний університет будівництва та архітектури,
bodakvladyslav@gmail.com

Сьогодні в Україні при розрахунках внутрішніх мереж холодного та гарячого водопостачання (подавальної частини) застосовують дві методики: стандартну, викладену в ДБН 2013 року «Внутрішній водопровід та каналізація» [1], та методику, яка спирається на використання комплексного параметру (так званого «оптимального діаметру») [2, 3].

У ДБН [1] в пункті 11.1 вказано, що розрахунок систем холодного водопостачання потрібно проводити за максимальними секундними