

УДК 691.54:504.5

doi:10.20998/2413-4295.2019.05.16

## БОРОТЬБА З ПРОМИСЛОВИМ ПИЛОМ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ЦЕМЕНТУ ЯК ФАКТОР СУТТЕВОГО ЗНИЖЕННЯ НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ ЦЕМЕНТНИХ ЗАВОДІВ НА ДОВКІЛЛЯ

С. П. КРИВІЛЬОВА, В. В. ВЛАСЕНКО\*, Д. О. ЦВІРКУН

кафедра хімічної техніки і промислової екології, НТУ «ХПІ», м. Харків, УКРАЇНА  
\*e-mail: vladavlasenko@gmail.com

**АНОТАЦІЯ** На сьогоднішній день екологізація будь-якого промислового виробництва є одним з невід'ємних елементів його екологічної безпеки. Цементні заводи України з їх морально і фізично застарілим обладнанням створюють значний екологічний ризик забруднення навколишнього середовища і становлять небезпеку для здоров'я населення прилеглих територій. У статті пропонується найбільш раціональний шлях зменшення негативного впливу цементних заводів на навколишнє середовище – екологізація їх технологічних циклів. Розроблено концепцію екологізації діючих цементних заводів, яка полягає в тому, що підприємство має стати екологічно чистим модулем. Це досягається тим, що кожен окремих технологічний процес стає автотрофним екологічним модулем; технологічні процеси усередині технологічного комплексу пов'язані між собою внутрішньовиробничими зв'язками; внутрішні зв'язки між модулями забезпечують використання відходів попередніх процесів у якості вторинної сировини подальших процесів; у структурі цементного заводу існує екологічно чистий процес, який виконує роль "модуля внутрішніх зв'язків" при мінімальному залученні енергоресурсів. Центральною ланкою цього "модуля внутрішніх зв'язків" є система призначення і уловлювання цементного пилу. Проаналізовано класифікаційну схему системи боротьби з промисловою пилом і газоподібними викидами цементних заводів, яка реалізується п'ятьма основними функціональними елементами: зв'язуванням забруднюючих речовин, затриманням забруднюючих речовин, уловлюванням забруднюючих речовин, очищенням повітря від забруднюючих речовин і розсіюванням забруднюючих речовин в атмосфері. Приведені найбільш ефективні методи боротьби з промисловим пилом: гідродинамічний, аеродинамічний, теплофізичний. Проаналізовано механізм взаємодії крапель води і часток пилу в повітрі в залежності від їх розмірів, розроблено рекомендації щодо вдосконалення процесу знепилювання піною технологічної сировини цементних заводів. Запропоновано схему туманоутворення з метою досягнення максимальної санітарно-гігієнічної та екологічної ефективності. Розроблено рекомендації щодо вдосконалення процесу знепилювання на окремих ділянках і способи їх реалізації.

**Ключові слова:** цементний завод; концепція екологізації; цементний пил; пінний спосіб; знепилювання.

## INDUSTRIAL DUST CONTROL IN CEMENT PRODUCTION AS A FACTOR IN SIGNIFICANTLY REDUCING THE NEGATIVE IMPACT OF CEMENT PLANTS ON THE ENVIRONMENT

S. KRIVILOVA, V. VLASENKO, D. TSVIRKUN

Department of "Chemical Technics and Industrial Ecology" NTU "KhPI", Kharkiv, UKRAINE

**ABSTRACT** Nowadays environmentalization of plants is one of intrinsic elements of Ukrainian environmental security. Even the most modern cement plants are imperfect, they create certain risk of environment pollution and menace to human health at adjacent areas. The cement plants of Ukraine have morally and physically obsolete equipment, they pose a risk to the health of the population of the adjacent territories. The article proposes a highly reasonable way to reduce negative environment effect from cement plants, namely, environmentalization of their process cycles. The transformation of existing cement plants with their outdated equipment and technology into an environmentally friendly module is one of the methods of ecologization of production on operating plants on the production of cement. The developed concept of environmentalization of cement plants consists in turning plant into an environment-friendly module. This is achieved by the fact that each separate technological process becomes an autotrophic environmental module; technological processes within the technological complex are interconnected by intra-production links; internal links between modules ensure the use of waste from previous processes as a secondary raw material of subsequent processes; In the structure of the cement plant, there is an environmentally friendly process, which serves as "a module of internal relations" with minimal energy resources. The central element of this "internal communications module" is the system of suppressing and trapping cement dust. Analyzed the classification scheme of the system of combating industrial dust and gaseous emissions of cement plants. It is implemented by five main functional elements. These are binding, retention, trapping, scattering of pollutants and air purification from pollutants. The most effective methods for combating industrial dust of cement plants are given: hydrodynamic, aerodynamic, and thermophysical method. Development recommendations for improving the process of dedusting process materials from cement plants foam. The mechanism of interaction of water droplets and dust particles in the air is analyzed depending on their size. An optimal fogging scheme is proposed to achieve maximum sanitary and hygienic and environmental efficiency. Methods of dust suppression at various sites of the cement plant are proposed, taking into account the specifics of technological processes, as well as ways to implement them.

**Keywords:** cement plant; the concept of greening; cement dust; foam method; dust removal.

### Вступ

Сьогодні важко уявити собі сучасне будівництво мегаполісів, високотехнологічних

промислових комплексів, об'єктів транспортної інфраструктури і всього, що так необхідно людству, без такого будівельного матеріалу, як цемент,

цементні розчини і бетони на його основі. З моменту створення цементу пройшло не так вже й багато часу, але сьогодні він є одним з найбільш споживаних товарів на будівельному ринку і практично незамінним матеріалом. Цементна промисловість буде розвиватися ще багато років, перш ніж їй знайдуть інноваційну заміну.

Але технологічні комплекси з виготовлення цементу все ще не є досконалими. Діючі цементні заводи негативно впливають на прилеглі території і здоров'я місцевого населення, не кажучи вже про робітників самих цих заводів.

Будівельна галузь завжди є локомотивом економіки. І в Україні вона має витягнути з кризи економіку держави та відбудувати зруйновані міста сходу. Зараз вона задіяна на незначну частку своєї потужності. Але коли дуже застаріле обладнання вітчизняних цементних заводів (що так і не було модернізовано певною мірою) запрацює на повну потужність, його негативний тиск на навколишнє середовище значно зросте.

#### **Мета роботи**

Метою даної роботи є розробка заходів щодо зменшення негативного впливу на довкілля пилових викидів цементного заводу шляхом розробки сучасної системи боротьби з промисловим пилом (СБПП).

Рівень технічних рішень, що використовуються сьогодні на українських цементних заводах, є недостатнім для повного відвертання їх негативного впливу на довкілля. Тому найбільш раціональною мірою захисту прилеглих територій від викидів цементних заводів в атмосферне повітря є екологізація їх технологічних циклів. В ідеалі вона має передбачати створення безвідходних замкнутих циклів, що повністю виключить попадання у біосферу забруднюючих речовин, а як компроміс сьогодення – маловідходні технології, бо повністю безвідходні процеси реалізуються тільки в природних екосистемах.

#### **Концепція екологізації технологічних комплексів цементних заводів**

Практично для всіх розташованих на Харківщині підприємств будівельної індустрії характерна тривала інтенсивна експлуатація застарілого устаткування ще часів СРСР зі значним матеріальним і майже повним моральним зносом. Будівельна продукція, що нині випускається ними, цілком порівняна за якістю з аналогічною продукцією європейських і провідних світових виробників, але використовувані на підприємствах технології відстали на багато десятиліть. І хоча цементні заводи не є потенційно небезпечними об'єктами (з точки зору виникнення промислових аварій або техногенних катастроф), без кардинальної модернізації їх подальша експлуатація пов'язана з певним

екологічним ризиком для населення прилеглих територій і довкілля. Тому для його зниження необхідно здійснити сучасне технічне переобладнання українських цементних заводів з обов'язковим рішенням проблеми екологізації кожного виробничого процесу. Це складна наукомістка проблема; вона нерозривно пов'язана з основними напрямками сталого розвитку держави [1,2].

Теоретичною основою концепції екологізації виробництва є модель екологічно чистого технологічного процесу, рівень екологічної чистоти якого залежить від міри очистки викидів і утилізації відходів. З позиції взаємодії технологічних систем з довкіллям екологічно чистий технологічний процес – це процес, функціонування якого не приводить до збільшення фонових концентрацій і рівнів елементів і параметрів довкілля; до перевищення ГДК і ПДУ параметрів довкілля в аварійних і екстремальних ситуаціях; до порушення рівноваги біосфери [3].

Концепція екологізації діючого цементного заводу полягає в тому, що цей завод має бути екологічно чистим модулем. Це можливо забезпечити наступним чином:

1. Кожен окремий технологічний процес, що входить як складова до техкомплексу з виробництва цементу, треба зробити елементарним автотрофним екологічним модулем.

2. Технологічні процеси усередині технологічного комплексу з виробництва цементу мають бути пов'язані між собою і взаємодіяти шляхом реалізації внутрішньовиробничих зв'язків.

3. Внутрішні зв'язки між модулями повинні бути пов'язані таким чином, щоб викиди і відходи попередніх процесів використовувались у якості вторинної сировини для подальших процесів.

4. У разі необхідності особливої технологічної підготовки відходів в структурі підприємства повинен бути введений спеціальний екологічно чистий процес, який буде відігравати роль "модуля внутрішніх зв'язків".

5. У цьому "модулі внутрішніх зв'язків" при мінімально можливому залученні енергоресурсів має бути забезпечене максимальне використання відходів.

Роль цього "модуля внутрішніх зв'язків" має бути відведена системі пригнічення і уловлювання цементного пилу з повторним її використанням, яка і є центральною ланкою концепції екологізації цементних заводів.

Сьогодні екологізація як усєї будівельної галузі, так і окремих заводів з виробництва цементу є одним з невід'ємних елементів екологічної безпеки України.

#### **Система боротьби з промисловим пилом (СБПП)**

Система боротьби з промисловим пилом (СБПП) призначена для цілеспрямованої зміни

параметрів, що характеризуються властивостями пилового аерозолю як дисперсної системи, його енергетичним станом і агрегативною стійкістю [4]. Класифікаційна схема боротьби з промисловим пилом і газоподібними викидами цементних заводів наведена на рис. 1. Як видно зі схеми, у загальному випадку боротьба з пилом та газоподібними викидами може бути реалізована п'ятьма основними функціональними елементами: зв'язуванням забруднюючих речовин (ЗР), затриманням ЗР, уловлюванням ЗР, очищенням повітря від ЗР і розсіюванням ЗР в атмосферному повітрі. На схемі (див. рис. 1) наведені методи боротьби з промисловим пилом: гідродинамічний, аеродинамічний, теплофізичний і т.і. [4,5].

Реалізація кожного з цих методів можлива різними способами, які характеризуються фізичною формою спрямованих на ЗР зовнішніх впливів. Наприклад, для гідродинамічного методу це зрошення (при цьому способі рідина представлена у формі крапель); пінний спосіб (при якому рідина має форму пухирців піни); або у вигляді туману (коли рідина представлена у формі крапель, близьких за розмірами до розмірів молекул) і ін.

Кожен спосіб в свою чергу може бути реалізований різними видами реалізації, що характеризуються технологією підготовки спрямованих на забруднюючий аерозоль зовнішніх впливів (наприклад, зрошення гідродинамічним методом може бути низьконапірним (НН), високонапірним (ВН) або пневмогідрозрошенням (ПГЗ). Крім того, кожен вид реалізації може бути здійснений різними технічними засобами зниження забруднення повітря.

При використанні в цілях боротьби з пилом на цементних заводах як у внутрішньому обсязі їх виробничих приміщень, так і в повітряному басейні промислових майданчиків та прилеглої території максимально економічною, санітарно-гігієнічною і екологічною реалізацією процесу обезпилювання повітря є гідрообезпилювання.

Його реалізація базується на попередньому безнапірному (БН) зволоженні, низьконапірному (НН) зрошенні; високонапірному (ВН) зрошенні; пневмогідрозрошенні (ПГЗ) при спільному використанні рідини і стисненого повітря; застосуванні піни (пінному способу зволоження сировини притаманна мінімальна витрата рідини); застосуванні туману (недоліком цього способу можна вважати перезволоження матеріалів).

**Боротьба з викидами пилу на цементних заводах при зберіганні, транспортуванні і перевантаженні сипких матеріалів**

Пилопригнічення є серйозною проблемою всієї будівельної галузі. Але для цементних заводів вона є найбільш гострою і актуальною, оскільки в районах розташування цих заводів під час виробництва

цементу пил накопичується у кількості, що перевищує 58 кг/га (в місяць); у зв'язку з цим на прилеглих територіях спостерігається ефект пригнічення життєдіяльності більшості живих організмів.

За статистикою, збільшення концентрації в повітрі частинок пилу діаметром менше 10 мкм (мікрон) на кожні 10 мкм ( $10^{-5}$  г) на 1 м<sup>3</sup>, підвищує на прилеглих територіях смертність жителів від раку легенів на 8 % і одночасно кількість пацієнтів лікувальних установ з хронічними респіраторними захворюваннями зростає на 7 % (половина з яких до того ж страждає ще й серцево-судинними захворюваннями) [6,7].

І саме частки такого розміру (діаметром менше 10 мкм) відіграють велику роль в утворенні хмар смогу над мегаполісами в зимові періоди. Крім того, цементний і кам'яний пил суттєво погіршує видимість на дорогах, що збільшує ризик аварій і знижує швидкість руху. Ресурс двигунів, що працюють в умовах запилення, скорочується в 2-3 рази. Вплив пилу збільшує також інтенсивність процесу корозії. Це призводить до того, що обслуговування і ремонт техніки стають дорожче, складніше і триваліше.



Рис. 1 – Класифікаційна схема боротьби з промисловим пилом і газоподібними викидами цементних заводів

Саме тому пилопригнічення є надзвичайно важливим заходом у будівельній галузі [8-13]. Воно здійснюється як за рахунок зниження пиловиділення, так і за рахунок зниження осадження пилу з повітря. На українських цементних заводах сировина зазвичай зберігається на відкритому повітрі; тому досить значна кількість пилу виникає ще й через вітрову ерозію. Транспортні засоби та спецтехніка, які рухаються по заводських дорогах, також піднімають в

повітря велику кількість пилу. В результаті тиску і переміщення шинами (що спостерігається вже при швидкості руху понад 20 км/год) дрібне каміння на внутрішньозаводських дорогах руйнується, і пил, що утворюється, здіймається у повітря.

При транспортуванні сипкої сировини на цементні заводи та готової продукції споживачам відбувається значне видування та втрата сипких вантажів через недосконалості засобів їх захисту, вплив метеорологічних факторів і через пошкодження тари, особливо при використанні відкритих вагонів.

Це призводить до забруднення цементним і кам'яним пилом як прилеглої до автомобільних і залізничних шляхів території, так і промислових майданчиків підприємств. Затверджені ще Держпостач СРСР і наведені в збірнику "Норм природного збитку продукції виробничо-технічного призначення і норм бою будматеріалів при транспортуванні і зберіганні", норми природного збитку (тобто зменшення маси) цементу при залізничних перевезеннях в критих вагонах і цистернах цементовозів насипом складають: 0,4 % від маси перевезеного цементу (незалежно від відстані), а в критих вагонах насипом – 0,5 %. При перевезенні цементу в критих вагонах у тарі – 0,5 %. Якщо ж цемент або щебінь перевозять залізничним транспортом у відкритих вагонах, то нормативні втрати становлять 1,28 % від маси; при перевезенні автомобільним транспортом вони зростають до 1,4 % від маси. Для кам'яної сировини втрати добігають 1,29 % від маси при перевезенні залізничним транспортом. Втрати при транспортуванні досить великі, а оскільки перевозять цемент і кам'яну сировину у вагонах вантажопідйомністю близько 70 тонн, то кількість потрапляючого в навколишнє середовище пилу становить від 1000 кг і більше з кожного вагону. Тому необхідно терміново переводити транспортування сипких вантажів на транспортування піввагонами з люками в підлозі (вони дозволяють механізувати вивантаження), критими хоперами з завантажувальними люками на даху, вагонами-цистернами для перевезення порошкоподібних матеріалів і вагонами бункерного типу. Але ідеальним варіантом є використання вагонів-самоскидів – думпкарів, призначених для перевезення та механізованого розвантаження сипучих вантажів.

Єдиного рішення всіх складних проблем боротьби з цементним і кам'яним пилом у будівельній галузі і універсального, повністю безпечного і продуктивного методу знепилювання не існує. Для кожного конкретного виду будівельного виробництва, як наприклад виробництво цементу, ці питання повинні бути вирішені з урахуванням його специфіки.

Вельми продуктивним способом боротьби з пилом є зрошення шляхом розпилення води дощувальними установками та гідромоніторами [14-16]. До складу дощувальних систем повинні входити

нагнітаючий водяний насос, дозуючий насос, насоси для подачі води, форсунки, датчики та пульт управління. Така дощувальна система керується вручну або автоматично. До недоліків такої дощувальної установки відноситься пилопригнічення на дуже нетривалий час, яке залежить від типу пилу та кліматичних умов в період пилоутворення, а також значні витрати на обслуговування дощувального обладнання, на робочу силу та енерговитрати. Тому процес зволоження заповнених поверхонь може бути нескінченним, як і витрати на нього.

На цементних заводах значна кількість пилу утворюється при розвантаженні самоскидів із сировиною в бункери дробарок. Для пилопригнічення на цих ділянках рекомендується використовувати систему зрошення, яка монтується «на упорі задніх коліс» самоскида і під час вивантаження інтенсивно зволожує вивантажуваний матеріал. Значна кількість пилу на цементних заводах утворюється і на ділянках подрібнення цементного клінкеру. Але застосування води в кількості, що забезпечує повне пилопригнічення, для дробарок є досить проблематичним. У дробарках утворюється настільки дрібний пил, що спроба пов'язати його чистою водою призводить до засмічення грохотів; дробарку доводиться зупинити на техобслуговування. Крім того, вода, що змішана з кам'яним пилом, діє як агресивний абразивний матеріал. Це призводить до передчасного зношування обладнання та значного збільшення витрат на його ремонт. Окрім того, осадження пилу за допомогою дощувального обладнання не є ефективним для пригнічення пилу, що вдихається, бо розмір крапель води становить від 200 до 600 мкм, у той час як розмір часток вдихаємого пилу складає 2-10 мкм.

Механізм осадження пилу з повітря полягає в наступному: краплі води, з'єднуючись з частинками пилу, збільшують їх вагу. В результаті цього пил осідає на землю. Якщо ввести в повітря достатню кількість крапель води приблизно такого ж розміру, який мають частинки пилу, то ймовірність зіткнення між краплями води і частинками пилу стає дуже високою (рис. 2, а). Але якщо розміри крапель води істотно перевищують розміри часток пилу, то частинки пилу рухаються навколо крапель води разом з потоками повітря, які обтікають краплі, і не з'єднуються з водою (рис. 2, б). На інтенсивність з'єднання крапель води з частками пилу впливають такі чинники як схильність часток пилу до розчинення у воді, гідрофобність і гідрофільність (здатність до змочування), присутність гігроскопічних солей, електричний потенціал часток пилу і крапель води, температура, вологість повітря, атмосферний тиск, наявність і вплив електричних полів.

Дрібний пил, що вдихається з повітря, доцільно брати в облогу за допомогою водяного туману. Водяний туман є найсучаснішим засобом боротьби з пилом; він генерується обладнанням різних типів. На цементних заводах туманогенеруючі установки

доцільно використовувати замість дощувальних, наприклад для створення туманної завіси поблизу бункерів дробарок (див. рис. 3). У місцях постійного пилоутворення (наприклад, у стрічок транспортерів) доцільно використовувати стаціонарні системи туманоутворення. У цих системах використовуються насоси високого тиску, які нагнітають воду в розпилюючі форсунки.

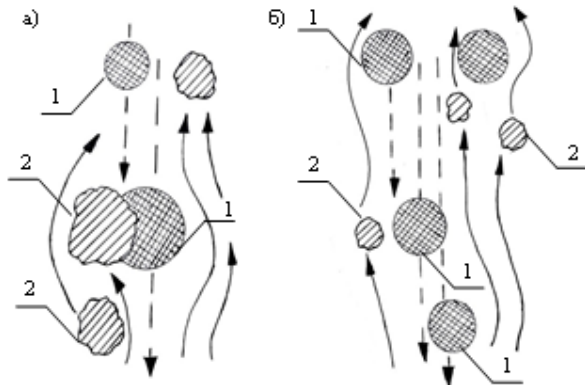


Рис. 2 – Механізм взаємодії крапель води і часток пилу в повітрі, якщо розмір часток пилу і крапель близький (а) та якщо краплі набагато більше часток пилу (б): 1 – крапля води; 2 – частка пилу; —> – напрямок руху повітря; - -> – напрямок руху крапель води

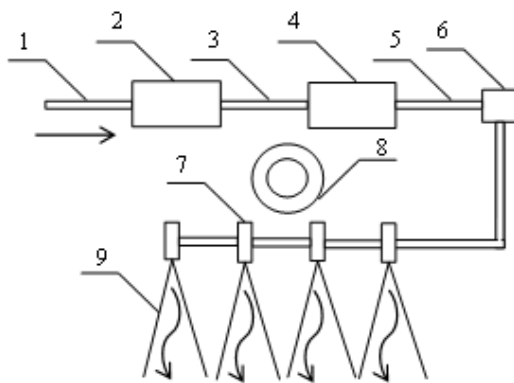


Рис. 3 – Система туманоутворення: 1 – подача води; 2 – система очисних фільтрів; 3 – шланг низького тиску; 4 – насос; 5 – шланг високого тиску; 6 – клапан; 7 – форсунки; 8 – вентилятор; 9 – туман

Інноваційною технологією є використання ультразвукового генератора туману. Оскільки частки пилу мають в основному негативний заряд (який залежить від природи пилу і дії навколишнього середовища), а краплі туману сильний позитивний заряд, то ймовірність з'єднання крапель води і часток пилу багаторазово зростає. При цьому кількість крапель (тобто витрата води), необхідних для осадження пилу, зменшується. Туманоутворюючі системи при високій ефективності пилопригнічення коштують недорого та дешеві в експлуатації; до їх

недоліків можна віднести тільки необхідність подачі стисненого повітря. Управління сучасним туманоутворюючим обладнанням може здійснюватися дистанційно.

Розмір крапель в тумані доцільно регулювати залежно від розмірів часток пилу, що пригнічується. Туманоутворюючі системи здатні одночасно нейтралізувати неприємні запахи і патогенні організми, а також охолоджувати повітря: під час перетворення води з рідини в пар поглинається енергія; це дозволяє одночасно охолоджувати повітря за допомогою туману.

У деяких випадках ще більш ефективним засобом боротьби з пилом, ніж водяний туман, виявляється розпилення піни, що покриває матеріал [17]. Згідно з основними положеннями теорії дисперсних систем піна являє собою грубодисперсну колоїдну систему, що містить в якості дисперсної фази повітря, а в якості дисперсійного середовища – розчин піноутворювача [18]. Як і будь-яка дисперсна система, піна характеризується агрегативною нестійкістю, що призводить до довольного її руйнування в результаті синерезиса, дифузії газу між пухирцями або завдяки розриву плівок піни [19]. Ефективність пилопригнічення дрібних фракцій може бути підвищена за рахунок електризації піни [20]. Для умов цементних заводів, що розглядаються, представляється доцільним наносити піну на кам'яні брили або шматки сировини, яка використовується для випалу цементного клінкера [21-23], перед їх надходженням у дробарку (за для того, що б на виході з установки у повітря піднімалося менше пилу). Для генерації піни в цьому випадку доцільно застосовувати піногенератори зі спеціальними форсунками, які розпилюють воду з піноутворюючою присадкою, яка деполаризує воду, створюючи мільйони дрібних бульбашок піни [24].

## Висновки

Проведено аналіз негативного впливу викидів промислового пилу цементних заводів на навколишнє середовище.

Показано, що найбільш ефективним шляхом їх зменшення є екологізація технологічних циклів діючих підприємств. Центральною ланкою концепції екологізації українських цементних заводів з їх застарілим обладнанням має бути використання інноваційних методів пилоподавлення, а саме гідродинамічного методу з використанням зрошення, пилопригнічення за допомогою піни або туману.

Наведено класифікаційну схему боротьби з промисловим пилом і газоподібними викидами цементних заводів. Запропоновані іноваційні методи боротьби з викидами пилу на ділянках окремих технологічних операцій (на кшталт розвантаження, подрібнення, транспортування, фасування і тд.), а також найбільш економічно доцільні в умовах



будіндустрії способи їх реалізації за допомогою сучасних систем зрошення і туманоутворення. Це обумовить зменшення викидів пилу цементними заводами (завдяки використанню сучасних систем пилоподавлення).

#### Список літератури

1. Шапар, А. Г. Критерії та показники сталого розвитку: наукові підходи до обґрунтування / А. Г. Шапар // *Екологія і природокористування: Збірник наукових праць Інституту проблем природокористування та екології НАН України*. – 2000. – Вип. 2. – С. 5-15.
2. Згуровський, М. З. Сталий розвиток у глобальному і регіональному вимірах: аналіз за даними 2005 р. / М. З. Згуровський. – К.: Політехніка, 2006. – 84 с.
3. Автомонова, В. А. Рециклинг отходов производства и лома бетонных конструкций как центральное звено концепции экологизации заводов ЖБК / В. А. Автомонова, В. В. Власенко, К. А. Зайцева, [и др.] // *Вісник НТУ «ХП»*. – Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. – Х.: НТУ «ХП». – 2017. – № 48 (1269). – С. 16-23.
4. Гурова, О. С. Теоретическое обоснование и разработка способов организации и технологий пылеподавления пеной на предприятиях стройиндустрии: дис. на соиск. уч. ст. д-ра техн. наук: 05.23.19 / Гурова Оксана Сергеевна – Ростов-на-Дону. 2017. – 287 с.
5. Valdborg, A. Y. U. Modern tendencies in the development of dust collecting theory and practice / A. Y. U. Valdborg // *Chemical and Petroleum Engineering*. – 2007. – Vol. 43. – P. 423-426.
6. Meo, S. A. Health hazards of cement dust / S. A. Meo // *Saudi Med J*. – 2004. – September. – Vol. 25 (9). – P. 1153-1159. – doi: 10.1186/s40557-014-0048-6.
7. Ahmed, H. O. Dust exposure and respiratory symptoms among cement factory workers in the United Arab Emirates / H. O. Ahmed, A. A. Abdullah // *Ind Health*. – 2012. – Vol. 50 (3). – P. 214-222. – doi: 10.2486/indhealth.MS1320.
8. Балгеренас, П. С. Обеспыливание воздуха на предприятиях строительных материалов / П. С. Балгеренас. – М.: Стройиздат, 1990. – 180 с.
9. Банит, Ф. Г. Пылеулавливания и очистка газов в промышленности строительных материалов / Ф. Г. Банит, А. Д. Мальгин. – М.: Стройиздат, 1979. – 352 с.
10. Минко, В. А. Обеспыливание технологических процессов производства строительных материалов / В. А. Минко. – Воронеж, 1981. – 175 с.
11. Минко, В. А. Комплексные системы обеспыливания при переработке сыпучих материалов / А. В. Минко [и др.] // *Высокие технологии в экологии: сб. тр. по мат. Межд. науч.-техн. конф.* – 1998. – С. 123-127.
12. Минко, В. А. Комплексное обеспыливание помещений при производстве цемента / А. В. Минко, В. Г. Шаптала // *Цемент*. – 1990. – № 12. – С. 15-17.
13. Беспалов, В. И. Теория и практика обеспыливания воздуха / В. И. Беспалов, Д. С. Дanelьянц, И. Мишнер. – К.: Наукова думка, 2000. – 185 с.
14. Саранчук, В. И. Физико-химические основы гидрообеспыливания и предупреждения взрывов угольной пыли / В. И. Саранчук, В. Н. Качан, В. В. Рекун. и др. – К.: Наукова думка, 1984. – 216 с.
15. Саранчук, В. И. Химические вещества для борьбы с пылью / В. И. Саранчук, В. П. Журавлев и др. – К.: Наукова думка, 1987. – 249 с.

16. Кудряшов, В. В. Механизм подавления пыли растворами ПАВ при орошении / В. В. Кудряшов, Л. Д. Воронина, Н. К. Шуринова // *Аэродисперсные системы и коагуляция аэрозолей: тез. док. на Всесоюз. науч.-техн. конф.* – 1982. – С. 3-5.
17. Wang, H. T. A New Technique for Preparation of Two-Phase Foam Materials for Controlling Mine Dust and its Application / H. T. Wang, D. M. Wang, W. X. Ren // *Advanced Materials Research*. – 2011. – Vol. 328-330 – P. 372-375. – doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.328-330.372.
18. Тихомиров, В. К. Пены. Теория и практика их получения и разрушения / В. К. Тихомиров. – М.: Химия, 1983. – 264 с.
19. Фихтнер, В. А. Закономерности процессов образования и разрушения пены как дисперсной системы / В. А. Фихтнер // *Актуальные вопросы физики аэродисперсных систем: тез. док. XV Всесоюз. Конф.* – 1989. – Т. 2 – С. 218.
20. Коровченко, Т. И. Разработка способов и средств повышения эффективности пылеулавливания пенным аэрозодем: автореф. дис... канд. техн. наук / Т. И. Коровченко. – М., 1988. – 40 с.
21. Кривилева, С. П. Основы промышленного строительства и санитарной техники / С. П. Кривилева, А. Н. Рассоха. – Х.: Изд-во «Точка», 2013. – 175 с.
22. Кривилева, С. П. Минералы и горные породы / С. П. Кривилева, А. Н. Рассоха. – Х.: Изд-во «Точка», 2014. – 178 с.
23. Кривилева, С. П. Драгоценная Украина: минералы и горные породы регионов / С. П. Кривилева, А. Н. Рассоха. – Х.: Финарт, 2016. – 160 с.
24. Тарат, Э. Я. Пенный режим и пенные аппараты / Э. Я. Тарат, И. П. Мухлѐнов. – Л.: Химия, 1977. – 288 с.

#### References (transliterated)

1. Shapar, A. G. Kryteriyi ta pokaznyky staloho rozvytku: naukovi pidkhody do obgruntuvannya [Criteria and indicators of sustainable development: scientific approaches to justification]. *Ekologiya i pryrodokorystuvannya: Zbirnyk naukovykh prac' Instytutu problem pryrodokorystuvannya ta ekolohiyi NAN Ukrainy* [Ecology and Nature Management: Collection of scientific works of Institute of Problems on Nature Management and Ecology of the NAS of Ukraine]. 2000, 2, 5-15.
2. Zgurovsky, M. Z. Stalyj rozvytok u global'nomu i regional'nomu vymirah: analiz za danymy 2005 r. [Sustainable development in the global and regional dimensions: analysis according to data of 2005]. K.: Politehnika, 2006, 84.
3. Avtonomova, V. O., Vlasenko, V. V., Zaitseva, K. O. et al. Recikling othodov proizvodstva i loma betonnykh konstrukciy kak central'noe звено концепции экологизации заводов ЖБК [Recycling of production waste and scrap of concrete structures as the central link in the environmentalization concept of plant of reinforced concrete framing]. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Chemistry, chemical engineering and environment*, 2017, 48 (1269), 16-23.
4. Gurova, O. S. Teoreticheskoe obosnovanie i razrabotka sposobov organizatsii i tehnologii pylepodavleniya penoy na predpriyatiyah stroyindustrii: dis. na soisk. uch. st.

- d-ra tehn. nauk: 05.23.19 / **Gurova O. S.** – Rostov-on-Don, 2017, 287.
5. **Valdberg, A. Y. U.** Modern tendencies in the development of dust collecting theory and practice. *Chemical and Petroleum Engineering*, 2007, **43**, 423-426.
  6. **Meo, S. A.** Health hazards of cement dust. *Saudi Med J*, 2004, **25 (9)**, 1153-1159, doi: 10.1186/s40557-014-0048-6.
  7. **Ahmed, H. O., Abdullah, A. A.** Dust exposure and respiratory symptoms among cement factory workers in the United Arab Emirates. *Ind Health*, 2012, **50 (3)**, 214-222, doi: 10.2486/indhealth.MS1320.
  8. **Balterenas, P. S.** Obespylivanie vozduha na predpriyatiyah stroitel'nyh materialov [Air dedusting at building materials enterprises]. M.: Strojizdat, 1990, 180.
  9. **Banit, F. G., Malgin, A. D.** Pyleulavlivaniya i ochildka gazov v promyshlennosti stroitel'nyh materialov [Dust collection and gas cleaning in the building materials industry]. M.: Strojizdat, 1979, 352.
  10. **Minko, V. A.** Obespylivanie tehnologicheskikh processov proizvodstva stroitel'nyh materialov [Dedusting of technological processes of production of building materials]. Voronezh, 1981, 175.
  11. **Minko, V. A.** Kompleksnye sistemy obespylivaniya pri pererabotke sypuchih materialov [Complex dedusting systems in the processing of bulk materials]. *Vysokie tehnologii v ekologii: sb. tr. po mat. Mezhd. nauch.-tehn. konf* [High technology in ecology: the collection of works on materials. Int. scientific and technical conf], 1998, 123-127.
  12. **Minko, V. A., Shaptala V. G.** Kompleksnoe obespylivanie pomeshcheniy pri proizvodstve tsementa [Complex dedusting of premises in the production of cement]. *Cement*, 1990, **12**, 15-17.
  13. **Bespalov, V. I., Danelyants D. S., Mishner I.** Teoriya i praktika obespylivaniya vozduha [Theory and practice of air dedusting]. Kiev: Naukova dumka, 2000, 185.
  14. **Saranchuk, V. I., Kachan, V. N., Rekun V. V.** et al. Fiziko-himicheskie osnovy gidroobespylivaniya i preduprezhdeniya vzyvov ugol'noy pyli [Physical and chemical principles of hydrodedusting and prevention of coal dust explosions]. K.: Naukova dumka, 1984, 216.
  15. **Saranchuk, V. Y., Zhuravlev V. P.** et al. Hymycheskye veshhestva dlya bor'by s pyl'yu [Chemicals for dust control]. K.: Naukova dumka, 1987, 249.
  16. **Kudryashov, V. V., Voronina, L. D., Shurina N. K.** Mehanyzm podavleniya pyli rastvoramy PAV pri oroshenii [The mechanism of dust suppression with surfactant solutions during irrigation]. *Aerodispersnyye sistemy i koagulyatsiya aerorozolei: tez. dok. na Vsesoyuz. nauch.-tehn. konf.* [Aero-dispersed systems and coagulation of aerosols: abstracts of reports to the All-Union. scientific -techn. conf.]. Moscow, 1982, 3-5.
  17. **Wang, H. T., Wang, D. M., Ren, W. X.** A New Technique for Preparation of Two-Phase Foam Materials for Controlling Mine Dust and its Application. *Advanced Materials Research*, 2011, **328-330**, 372-375, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.328-330.372.
  18. **Tyhomirov, V. K.** Peny. Teoriya i praktika ikh polucheniya i razrusheniya [Theory and practice of their receipt and destruction]. M.: Khymyja, 1983, 264.
  19. **Fyhtner, V. A.** Zakonomernosti processov obrazovaniya i razrusheniya peny kak dispersnoy systemy [Regularities of the processes of formation and destruction of foam as a dispersed system]. *Aktual'nyye voprosy fiziki aerodispersnykh sistem: tez. dok. XV Bsesoyuzn Konf.* [Actual problems of the physics of aerodisperse systems: tez.dok.XV All Union. Conf.]. 1989, **2**, 218.
  20. **Korovchenko, T. I.** Razrabotka sposobov i sredstv povysheniya effektivnosti pyleulavlivaniya pennym aerorozolem [Development of methods and means of increasing the efficiency of dust collection by foam aerosol]. *The thesis for a Degree of "Candidate of Technical Science"*, Moscow, 1998, 40.
  21. **Krivileva, S. P., Rassokha A. N.** Osnovy promyshlennogo stroitel'stva i sanitarnoy tekhniki [Basics of industrial construction and sanitary equipment]. Kharkov: Izd-vo «Tochka», 2013, 175.
  22. **Krivileva, S. P., Rassokha A. N.** Mineraly i gornyye porody [Minerals and Rocks]. Kharkov: Izd-vo «Tochka», 2014, 178.
  23. **Krivileva, S. P., Rassokha A. N.** Dragotsennaya Ukraina: mineraly i gornyye porody regionov [Precious Ukraine: minerals and rocks of the regions]. Kharkov: Fynart, 2016, 160.
  24. **Tarat, E. Ya.** Pennyu rezhim i pennyye apparaty [Foam Mode and Foam Apparatus]. L.: Hymyja, 1977, 288.

#### Відомості про авторів (About authors)

**Кривільова Світлана Павлівна** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри хімічної техніки і промислової екології, м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0001-6502-9486; e-mail: sv.krivilyova1@gmail.com.

**Svetlana Krivileva** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Associate Professor of Department of "Chemical Technics and Industrial Ecology", National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0001-6502-9486; e-mail: sv.krivilyova1@gmail.com.

**Власенко Влада Валеріївна** – бакалавр 4-го року навчання, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0003-0344-809X; e-mail: vladavlasenko@gmail.com.

**Vlada Vlasenko** – the fourth year Bachelor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", student, Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0003-0344-809X; e-mail: vladavlasenko@gmail.com.

**Цвіркун Дарина Олександрівна** – бакалавр 3-го року навчання, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», студент, м. Харків, Україна, ORCID: 0000-0003-0621-6403; e-mail: darina.tsvirkun@gmail.com.

**Darina Tsvirkun** – the third year Bachelor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", student, Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0003-0621-6403; e-mail: darina.tsvirkun@gmail.com.

*Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:*

**Кривільова, С. П.** Борьба с промышленным пылом при производстве цемента как фактор существенного снижения негативного влияния цементных заводов на окружающую среду / **С. П. Кривільова, В. В. Власенко, Д. О. Цвіркун** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2019 – № 5 (1330). – С. 124-131. – doi:10.20998/2413-4295.2019.05.16.

*Please cite this article as:*

**Krivileva, S., Vlasenko, V., Tzvirkun, D.** Industrial dust control in cement production as a factor in significantly reducing the negative impact of cement plants on the environment. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2019, **5** (1330), 124-131, doi:10.20998/2413-4295.2019.05.16.

*Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:*

**Кривилева, С. П.** Борьба с промышленной пылью при производстве цемента как фактор существенного снижения негативного влияния цементных заводов на окружающую среду / **С. П. Кривилева, В. В. Власенко, Д. А. Цвиркун** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2019. – № 5 (1330). – С. 124-131. – doi:10.20998/2413-4295.2019.05.16.

**АННОТАЦИЯ** На сегодняшний день экологизация любого промышленного производства является одним из неотъемлемых элементов его экологической безопасности. А цементные заводы Украины имеют морально и физически устаревшее оборудование они создают значительный экологический риск загрязнения окружающей среды и представляют опасность для здоровья населения прилегающих территорий. В статье предлагается наиболее рациональный путь уменьшения негативного влияния цементных заводов на окружающую среду – экологизация их технологических циклов. Разработана концепция экологизации действующих цементных заводов, которая состоит в том, что предприятие должно стать экологически чистым модулем. Это достигается тем, что каждый отдельный технологический процесс становится автотрофным экологическим модулем; технологические процессы внутри технологического комплекса связаны между собой внутривиробничными связями; внутренние связи между модулями обеспечивают использование отходов предыдущих процессов в качестве вторичного сырья последующих процессов; в структуре цементного завода существует экологически чистый процесс, который выполняет роль модуля внутренних связей" при минимальном привлечении энергоресурсов. Центральным звеном этого "модуля внутренних связей" является система подавления и улавливания пыли. Проанализирована классификационная схема системы борьбы с промышленной пылью и газообразными выбросами цементных заводов, которая реализуется пятью основными функциональными элементами: связыванием загрязняющих веществ, задержанием загрязняющих веществ, улавливанием загрязняющих веществ, очисткой воздуха от загрязняющих веществ и рассеянием загрязняющих веществ в атмосфере. Приведены наиболее эффективные методы борьбы с промышленной пылью цементных заводов: гидродинамический, аэродинамический, теплофизический. Разработаны рекомендации по совершенствованию процесса обеспыливания пеной технологического сырья. Проанализирован механизм взаимодействия капель воды и частиц пыли в воздухе в зависимости от их размеров. Предложена оптимальная схема туманообразования для достижения максимальной санитарно-гигиенической и экологической эффективности. Разработаны рекомендации по совершенствованию процесса обеспыливания на отдельных участках и способы их реализации.

**Ключевые слова:** цементный завод; концепция экологизации; пыль цементная; пенный способ; обеспыливание.

*Поступила (received) 28.02.2019*