

## ПИЛОПРИГНІЧЕННЯ ВУГІЛЬНОГО ПИЛУ ПРИ ПЕРЕВАНТАЖЕННІ ВУГІЛЛЯ У ПАЛИВНО-ТРАНСПОРТНИХ ЦЕХАХ ТЕС

**Мета.** Метою даної роботи є аналіз ефективності боротьби з вугільним пилом за допомогою піни для зниження пилового навантаження, яке шкодить здоров'ю працівників паливно-транспортних цехів теплових електростанцій. Транспортування вугілля конвеєрами та його перевантаження супроводжуються утворенням та поширенням вугільного пилу. Для попередження виділення вугільного пилу у приміщення паливно-транспортних цехів, джерела його утворення (вузли перевантаження) обладнують аспіраційними укриттями, повітря з яких спрямовується до очисних апаратів. Недосконалість монтажу аспіраційних укриттів або невірний підбір вентиляційно-очисного обладнання призводить до зниження їх ефективності погіршуючи умови праці працівників та підвищуючи небезпеку утворення вибухонебезпечних сумішей.

**Методи дослідження.** Проведено узагальнення та аналіз наукової літератури, свідоцтв і патентів на винаходи та корисні моделі щодо засобів боротьби з пиловиділенням на вузлах перевантаження вугілля.

**Наукова новизна.** Розглянуто можливості зниження пиловиділення при перевантаженні вугілля у паливно-транспортних цехах за рахунок використання повітряно-механічної піни.

**Практична значимість.** Результати проведеного аналізу показують, що для зниження виділення вугільного пилу у приміщеннях паливно-транспортних цехів теплових електростанцій під час перевантаження вугілля доцільно використовувати барботажні піногенератори, які дозволять забезпечити утворення необхідної для пилопригнічення кількості піни і стабільність зниження виділення вугільного пилу на перевантажувальних вузлах паливоподачі без постійного оперативного контролю з боку працівників станцій.

**Результати.** Проведені дослідження роботи аспіраційних систем перевантажувально-розвантажувальних ліній показали, що основними недоліками в проектуванні систем аспірації у приміщеннях паливно-транспортних цехів є заниження об'ємів аспіраційного повітря, непогодженість повузлових тисків у цих системах і відсутність запасу продуктивності вентиляторів на непродуктивні підсмоктування повітря. Використання піни є ефективним засобом зниження пиловиділення при перевантаженні вугілля, але застосування такого способу пилопригнічення без використання аспіраційних систем, які знижують тиск в укриттях вузлів перевантаження, погіршує його ефективність. Підвищення ефективності пилопригнічення можливе при використанні для пилоочищення апаратів, працюючих при невеликих швидкостях руху повітря. Ці заходи дозволять поліпшити умови праці працівників паливно-транспортних цехів теплових електростанцій.

**Ключові слова:** вугільний пил, аспіраційна система, пилопригнічення, перевантажувальний вузол, повітряно-механічна піна, піноутворювач, барботажний піногенератор.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Теплові електростанції (ТЕС) представляють собою складні енергогенеруючі комплекси, які складаються з будівель і споруд різного призначення, енергогенеруючого та іншого обладнання. Одним із основних структурних елементів є паливне господарство – паливно-транспортні цехи.

У паливно-транспортних цехах вугільних ТЕС використовують таке обладнання: устаткування для розморожування вугілля у зимовий період, вагоноперекидачі для розвантаження вугілля, дробарки, стрічкові конвеєри, аспіраційні та інші допоміжні системи, системи пилоприготування. Це обладнання використовується для підготовки (подрібнення, очищення від домішок тощо) і транспортування вугілля до котельного цеху або на вугільний склад.

Технологічний комплекс паливно-транспортного цеху працює таким чином. За допомогою вагоноперекидачів вугілля з вагонів надходить у бункери. З бункерів за допомогою стрічкових живильників вугілля пересипається на стрічкові конвеєри (транспортери), які спрямовують його до котлів або на склад. Оскільки лінія паливоподачі паливно-транспортного цеху має велику протяжність, конвеєри обладнано перевантажувальними вузлами з метою пересипання вугілля з одного транспортера на інший для його спрямування на подальшу переробку до технологічного устаткування. У дробарках дробильного корпусу вугілля подрібнюється до розмірів не більше 25 мм.

З метою попередження виділення вугільного пилу у приміщення паливно-транспортних цехів, яке має місце при перевантаженні вугілля (інтенсивність виділення пилу, в середньому, коливається у межах 40-125 мг/с і може сягати 500 мг/с), перевантажувальні вузли обладнують

аспіраційними укриттями. Через несвоєчасність заміни (регенерації) аспіраційних очисних установок, а також недостатній контроль герметичності аспіраційних укриттів, вугільний пил надходить у приміщення та транспортні галереї паливно-транспортних цехів погіршуючи умови праці працівників та підвищуючи небезпеку утворення вибухонебезпечних сумішей, що можуть стати причиною вибуху та пожежі.

Вдихання повітря, забрудненого вугільним пилом, спричинює у працівників захворювання на хронічний пиловий бронхіт та карбоконіоз – антракоз, який проявляється слабкістю, болем за грудиною, кашлем. Вугільний пил також може провокувати захворювання верхніх дихальних шляхів, очей і шкіри [1-3].

Вміст вугільного пилу в атмосфері робочої зони працівників паливно-транспортних цехів ТЕС регламентується Гігієнічними регламентами хімічних речовин у повітрі робочої зони, затвердженими наказом Міністерства охорони здоров'я України від 14.06.2020 р. № 1596.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Питанню боротьби з вугільним пилом присвячено наукові роботи ряду вітчизняних та закордонних авторів, таких як В.Б. Гого, Б.А. Грядущий, Ю.Ф. Булгаков, А.Б. Качинський, Є.О. Яковлев, О.І. Лисенко, Є.О. Воробйов, Р.Н. Воег, D. Laurence, Jiuping Xu та ін. [4-11].

Для зменшення виділення та уловлення вугільного пилу різні автори рекомендують використовувати дисперговану воду [4-6], розчин лігносульфонатів [7], розчин вуглелужного реагенту [8], волоконні фільтри [9] та ін.

**Постановка задачі.** Багато робіт присвячено боротьбі з вугільним пилом при видобутку та транспортуванні вугілля, але до теперішнього часу не вирішене питання пилопригнічення та вловлення вугільного пилу під час перевантаження вугілля на лініях паливоподачі ТЕС для покращення умов праці працівників.

**Викладення матеріалу та результати.** Ефективність роботи аспіраційних систем паливно-транспортних цехів ТЕС залежить, у першу чергу, від ефективності уловлення пилу в пилоочисних апаратах та швидкості руху запиленого повітря у аспіраційних трубопроводах.

Очищення аспіраційного повітря може відбуватись в одну стадію, як правило у циклонах, або у дві стадії – у циклонах з доочищенням у скруберах. Теоретична ефективність пилоочищення циклона може сягати 80-90 %, а скрубєрів – 90-95, у реальних умовах паливно-транспортних цехів ТЕС ефективність роботи циклонів та скрубєрів значно нижче, наприклад, ефективність пилоочищення циклонів в умовах паливно-транспортного цеху ДТЕК «Криворізька ТЕС» АТ «ДТЕК Дніпроенерго» знаходиться у межах 42-76 % і в середньому не перевищує 55 %, ефективність пилоочищення скрубєрів ще нижче. Це пояснюється низькою швидкістю входу запиленого повітря у циклони через значний опір аспіраційних повітроводів, який зумовлений їх забиванням вугільним пилом. Підвищення ефективності уловлення пилу у пилоочисних апаратах можна досягти за рахунок запровадження засобів і заходів пилопригнічення вугільного пилу в аспіраційних укриттях для запобігання його відкладенню у аспіраційних повітроводах.

Цілодобовий режим роботи ліній паливоподачі паливно-транспортних цехів, відсутність постійних працівників поблизу перевантажувальних вузлів, наявність значної кількості місць інтенсивного пилоутворення висуває особливі вимоги до засобів пилопригнічення: ефективність і економічність, простота конструкції і управління, надійність в роботі.

Застосовування повітряно-механічної піни для пилопригнічення вугільного пилу на лініях паливоподачі має ряд переваг перед іншими засобами: зниження витрат рідини (ефективність пилопригнічення зростає в 2-2,5 рази при зниженні витрати води в 2-3 рази у порівнянні зі зрощенням), відсутність перезволоження вугілля, рівномірність покриття джерел пилоутворення, зниження вторинного пилоутворення та ін.

Повітряно-механічна піна являє собою комірчасто-плівкову систему, окремі бульбашки якої зв'язані між собою у загальну масу роздільними плівками, утворену шляхом змішування повітря з розчином піноутворювача. Вона має певну жорсткість і відноситься до колоїдних систем, які характеризуються гетерогенністю (багатофазністю) та агрегативною лабільністю (нестійкістю).

Піноутворювачами є поверхнево-активні речовини (ПАР), молекули яких складаються з довгої неполярної (гідрофобної) і короткої полярної (гідрофільної) частин. Гідрофільна частина молекули розчинена у воді, а гідрофобна повернена до повітря. Якщо повітряна бульбашка

знаходиться в розчині ПАР на її поверхні формується адсорбційний шар піноутворювача, гідрофобні (вуглеводні) частини молекули якого направлені всередину бульбашки, а гідрофільні частини повернені в бік водної фази. Поверхня розчину також вкрита шаром молекул піноутворювача, орієнтованим гідрофобною частиною до повітря, а гідрофільною – до розчину. Проходячи через поверхню розчину, повітряна бульбашка вкривається подвійним шаром орієнтованих молекул, між якими міститься розчин ПАР.

Розчин ПАР, який знаходиться в середній частині, поступово стікає, плівка тоншає, втрачаючи свою стійкість, і розривається. Зазвичай бульбашки у повітряно-механічній піні мають не сферичну форму, як у окремої бульбашки, а деформовану багатогранну внаслідок надлишку повітря і взаємного стискання.

Повітряно-механічна піна має значно більший об'єм, ніж розчин ПАР, з якого її отримано, і це співвідношення називається кратністю піни. Внаслідок цього при відносно невеликих витратах розчину піноутворювача збільшується поверхня взаємодії з пилом порівняно зі зрошенням дрібнодисперговою водою. Крім того, шар повітряно-механічної піни дозволяє ізолювати осередки пилоутворення та запобігти переходу вугільного пилу в зважений стан і поширенню в атмосфері паливно-транспортного цеху.

При контакті повітряно-механічної піни з пилинками вугілля відбувається їх змочування і адсорбція молекул ПАР на поверхні пилинок.

При нанесенні повітряно-механічної піни на вугільну масу відбувається її очищення від пилових часток за рахунок їх втягування всередину бульбашок піни. Це зумовлено процесами, які протікають у піні при її руйнуванні.

Оскільки вага пилинок вугілля розміром менше 100 мкм не перевищує  $1 \cdot 10^{-8}$  Н, а їх адгезія до поверхні – не більше  $0,2 \cdot 10^{-8}$  Н, можна зробити висновок, що сили, обумовлені розпадом бульбашок повітряно-механічної піни, значно перевищують сили адгезії і ваги пилинок, внаслідок чого вони можуть бути легко відірвані від шматків вугілля або поверхні технологічного обладнання і втягнуті всередину шару піни.

Отже, при пилопригніченні повітряно-механічною піною в порівнянні зі зрошенням дрібнодисперговою рідиною значно збільшується ймовірність проникнення вугільних пилинок в шар рідини, в результаті чого може підвищуватися ефект знепилювання.

Слід зазначити, що всмоктування вугільних частинок всередину повітряно-механічної піни посилюється при перемішуванні нижніх її шарів, які містять велику кількість часток вугілля, з верхніми шарами. При подачі повітряно-механічної піни в зону руйнування вугілля відбувається її інтенсивне перемішування, в результаті чого процес змочування і всмоктування вугільних пилинок поліпшується.

Для попередження винесення пластівців повітряно-механічної піни з-під аспіраційного укриття до аспіраційних повітроводів рекомендується, щоб швидкість потоку повітря, що надходить на пінний екран, не перевищувала 0,6-0,7 м/с.

Оптимальна кратність повітряно-механічної піни для пилопригнічення вугільного пилу на лініях паливободачі паливно-транспортних цехів становить 80-200.

В Україні випускається велика кількість піноутворювачів, серед яких можна виділити такі: піноутворювач «Альпен» (ТОВ «Альхім») – водний розчин вуглеводневих аніонних ПАР зі стабілізуючими добавками; випускається для загального («Альпен АЕРО») та спеціального («Альпен АFFF», «Альпен-М») призначення, не шкідливий для навколишнього середовища, біологічно розкладається, малотоксичний, невибухонебезпечний;

піноутворювач «Софір» (ТОВ «Фірма «СОЮЗ, ЛТД») – піноутворювач для пилопригнічення вугільного, вуглепородного, залізородного, породного пилу; екологічно нешкідливий, нетоксичний, вибухо- та пожежобезпечний;

піноутворювач «Пірена» (НВП «Пірена») – випускається для загального («Пірена-1», «Пірена-2», «Пірена-3», «Пірена-4») та спеціального («Аfmer АFFF») призначення; не шкідливий для навколишнього середовища, біологічно м'який.

Для отримання повітряно-механічної піни різноманітними організаціями розроблено велику кількість піногенераторів, за допомогою яких її можна застосовувати як для гасіння пожеж, так і для пилопригнічення.

Повітряно-механічну піну можна отримати шляхом механічного перемішування розчину піноутворювача, збовтування, пропускання повітря через шар розчину піноутворювача, про-

давлювання піноутворювача через пористі перегородки за рахунок ежектування повітря струменем розчину або примусової його подачі в піногенератор.

Для пилопригнічення широко використовують піногенератори з отриманням повітряно-механічної піни на сітках (рис. 1).

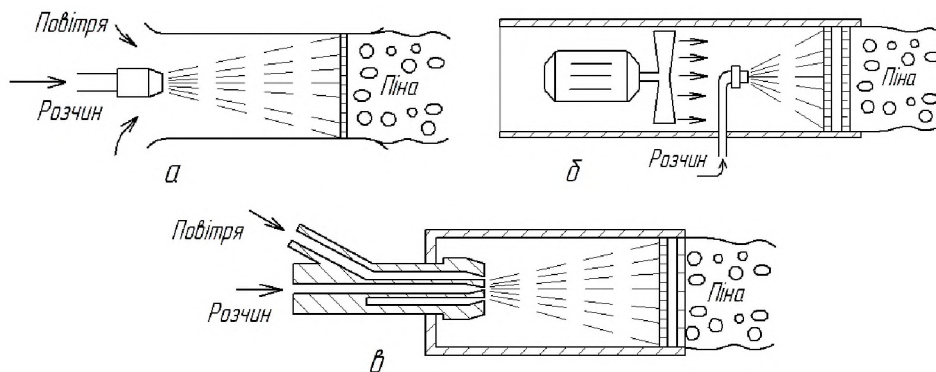


Рис. 1. Схеми сіткових піногенераторів

У цих піногенераторах повітря та піноутворювач подаються на сітку за рахунок ежекції повітря (рис. 1а), за допомогою вентилятора (рис. 1б) або за допомогою компресора (рис. 1в).

Отримана таким чином повітряно-механічна піна має відносно рівномірну структуру, а її кратність може бути змінена в широких межах (від 20 до 1000) за рахунок зміни співвідношення кількості повітря та піноутворювача, яке залежить, у першу чергу, від концентрації піноутворювача в розчині та розмірів вічка сітки.

Основною перевагою сітчастих піногенераторів з форсуночною подачею піноутворювача полягає в їх компактності. Недоліком таких піногенераторів є непостійність роботи, так як вона залежить від співвідношення кількості повітря та піноутворювача, їх фізичних параметрів (в'язкості, температури), розміру крапель піноутворювача, форми факелу розбризкування тощо.

У промислових умовах сталість цих факторів забезпечити складно і тому експлуатація таких піногенераторів потребує постійного нагляду і, відповідно, закріплення за ними постійних працівників (операторів).

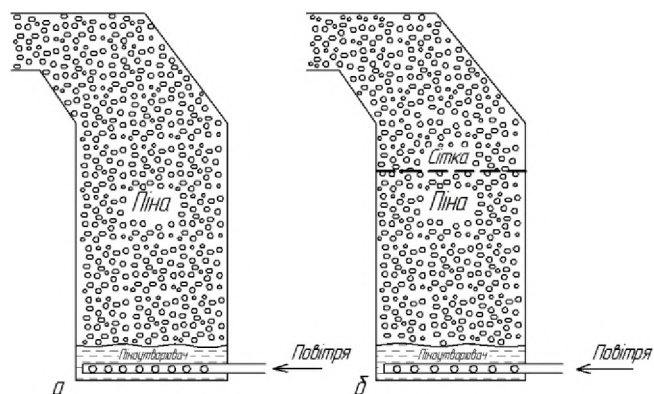
Оскільки у паливно-транспортних цехах велика кількість місць інтенсивного пилоутворення (вузлів перевантаження) і не має можливості закріплення постійних працівників (операторів), то використання сітчастих піногенераторів у таких умовах є недоцільним.

За таких умов доцільно використовувати барботажні піногенератори (рис. 2), у яких повітря пропускається крізь розчин піноутворювача. Вони поділяються на чисто барботажні та сітчасто-барботажні.

Рис. 2. Схеми барботажних піногенераторів

У чисто барботажних піногенераторах (рис. 2а) повітряно-механічна піна утворюється на поверхні розчину піноутворювача і далі пінопроводом спрямовується у потрібну точку.

У піногенераторах сітчасто-барботажного типу (рис. 2б) повітряно-механічна піна потрапляє на горизонтальну сітку, калібрується і далі надходить до пінопроводу.



Продуктивність утворення повітряно-механічної піни у барботажному піногенераторі може сягати до  $7 \text{ м}^3/\text{хв.}$  з  $1 \text{ м}^2$  площі барботування, а сітчасто-барботажного – до  $26 \text{ м}^3/\text{хв.}$  з  $1 \text{ м}^2$  площі барботування.

Недоліком барботажних піногенераторів є відносно невелика питома продуктивність у порівнянні з сітчастими при однаковій витраті повітряно-механічної піни. Перевагами таких піногенераторів є стабільність роботи, економічність та низька вірогідність відмов при експлуатації, що дозволяє використовувати дистанційне керування процесом пилопригнічення. Тому

барботажні піногенератори доцільно використовувати в умовах паливно-транспортних цехів ТЕС.

Загальна кількість повітряно-механічної піни, яку треба подавати на пилопригнічення, визначається з виразу

$$Q = Q_p + Q_n + Q_v,$$

де  $Q_p$  – кількість піни, яка мимовільно руйнується під час заповнення об'єму аспіраційного укриття, м<sup>3</sup>/с; приймається 10 % від продуктивності піногенератора;  $Q_n$  – кількість піни, яка йде на вловлення пилу, м<sup>3</sup>/с;  $Q_v$  – кількість піни, яка виноситься з укриття матеріалом, м<sup>3</sup>/с.

Кількість піни, яка йде на вловлення пилу, можна визначити з виразу

$$Q_n = q \cdot S_n,$$

де  $q$  – питома витрата піноутворювача, м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>;  $S_n$  – середня питома поверхня часок пилу, м<sup>2</sup>/с.

Кількість піни, яка виноситься з укриття матеріалом, можна визначити з виразу

$$Q_v = l \cdot h \cdot v,$$

де  $l$  – ширина покриття піною матеріалу на стрічці конвеєра, м;  $h$  – товщина покриття піни, м;  $v$  – швидкість руху стрічки конвеєра, м/с.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Досягти зниження запиленості повітря у паливно-транспортних цехах ТЕС і покращення умов праці працівників можна застосуванням повітряно-механічної піни для пилопригнічення в аспіраційних укриттях перевантажувальних вузлів:

для пилопригнічення можна застосовувати барботажні піногенератори, які дозволяють запровадити дистанційне керування процесом утворення повітряно-механічної піни. Продуктивності барботажного піногенератора цілком достатньо для пилопригнічення в таких умовах;

використання для пилопригнічення тільки повітряно-механічної піни без аспіраційних систем або інших пристроїв зниження тиску в укриттях перевантажувальних вузлів знижує пилопригнічення через значний винос піни з укриття;

для отримання повітряно-механічної піни можна використовувати піноутворювачі вітчизняного виробництва: «Альпен» (ТОВ «Альхім»), «Софір» (ТОВ «Фірма «СОЮЗ, ЛТД»), «Пірена» (НВП «Пірена»).

#### Список літератури

1. Костюк І.Ф. Професійні хвороби : підручник / І.Ф. Костюк, В.А. Капустник. – К. : Вид-во «Здоров'я», 2003. – 582 с.
2. Актуальні проблеми діагностики та лікування професійних захворювань : навч. посібн. для лікарів / за ред. проф. М.Г. Карнауха. – Кривий Ріг, 2009. – 128 с.
3. Кундієв Ю.І. Динаміка професійної захворюваності в Україні та досвід Інституту медицини праці НАМН України / Ю. І. Кундієв, А. М. Нагорна, М. П. Соколова, І. Г. Кононова // Український журнал з проблем медицини праці. – 2013. – № 4. – С. 11-22.
4. Гого В.Б. Інноваційні гідродинамічні засоби боротьби з пилом для сучасних гірничих комплексів / В.Б. Гого, В.О. Сироватченко, О.І. Михайлов, Р.В. Патокін // Форум гірників – 2018. – С. 257-263.
5. Горобей М.С. Теоретичні дослідження динаміки пилових потоків у гірничих виробках і розробка фізичної моделі взаємодії диспергованої води з завислим у повітрі карбоновмісним пилом // Геотехнічна механіка. – 2018. – № 141 – С. 184-189.
6. Горобей М.С. Розробка математичної моделі аеродинамічної взаємодії розпиленої води з частинками вугільного пилу / М.С. Горобей, Ю.Ф. Булгаков, І.А. Шайхлисламова, С.А. Алексеєнко // Розробка родовищ. – 2015. – Т. 9. – С. 443-449.
7. Воробійов Є.О. Вирішення питань техногенної безпеки при складуванні і транспортуванні вугілля / Є.О. Воробійов, О.В. Грабар, В.В. Лихачова, Д.О. Чекальов, К.О. Сухар // Вісті Донецького гірничого інституту. – 2010. – № 2. – С. 68-73.
8. Тищук В.Ю. Способи пилоподавлення при підготовці вугілля до коксування / В.Ю. Тищук, І.Б. Ковальова // Збірник наукових праць НГУ. – 2017. – № 52. – С. 376-382.
9. Тищук В.Ю. Розробка способу пилоуловлювання при сухому вивантаженні коксу з печі / В.Ю. Тищук, І.Б. Ковальова, М.В. Худис // Збірник наукових праць НГУ. – 2017. – № 52. – С. 382-389.
10. Emissions and human health impact of particulate matter from surface mining operation – A review AK Patra, S. Gautam, P. Kumar – Environmental Technology & Innovation, 2016 – P. 233-249.
11. Mamurekli D. Environmental impacts of coal mining and coal utilization in the UK // Acta Montanistica Slovaca, Ročník 15(2010), № 2, p. 134-144

Рукопис подано до редакції 15.04.2023