

ЗМОЧУВАННЯ ВУГІЛЛЯ ВИСОКОДИСПЕРСНИМ ФАКЕЛОМ

(Статтю опубліковано українською мовою в журналі «Уголь Украины» № 11 за 2007 рік)

В. П. Коваль, доктор техн. наук, Д. І. Соловійов, інж.

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту

Необхідною умовою безпечної праці в вугільних шахтах є знепилювання повітря до санітарних норм (не більше 10 мг/м^3).

Незважаючи на значний обсяг наукових досліджень [1] і багаторічний пошук засобів боротьби з пилом в вугільних шахтах [2] ефективне обладнання пилоподавлення відсутнє. В Інструкції [3] установлені тиск і питома витрата рідини під час зрошення на вантажних пунктах $0,5\text{--}1,2 \text{ МПа}$ і 5 л на 1 т гірничої маси відповідно, при цьому концентрація пилу в гірничих виробках не регламентується. Для найбільш розповсюдженого гідрообезпилення оптимальним вважається тиск води $1,5\text{--}3 \text{ МПа}$, середній діаметр краплин $60\text{--}90 \text{ мкм}$, відстань до джерела пилоутворення $0,3\text{--}0,5 \text{ м}$, швидкість при зустрічі з пилинками $15\text{--}20 \text{ м/с}$ [2].

МакНДІ рекомендує параметричний ряд уніфікованих форсунок для вугільних шахт [4] з використанням для осадження пилу краплин $60\text{--}200 \text{ мкм}$ з швидкістю $20\text{--}30 \text{ м/с}$. Форсунки високого тиску застосовуються при пилоподавленні в шахтах США, Германії та інших країнах.

Слід відзначити, що створення довговічних форсунок, які працюють під тиском більше $0,5 \text{ МПа}$ є окремою проблемою. Ерозійний знос мінеральними частинками, більшими 100 мкм , зумовлюють необхідність багатоступеневої фільтрації води, а кавітаційне зношення при швидкості в сопловому отворі, що перевищує 14 м/с , – заміну форсунок. Відомо даним фірми Lechler (Німеччина), що через 70 год роботи витрата води через щільний розпилювач з латуні збільшується на 10% , з нержавіючої сталі – на $7,5$, поліоксидметилену – на $3,5$, металокераміки – на $2,6 \%$.

Час напрацювання на відмову визначає придатність форсунки для шахтної зрошувальної установки.

Доцільно застосовувати у зрошувальних установках довговічний та надійний відцентровий ропилувача Ф 0.3.1.0 (тиск води 0,3 МПа, витрата 1 л за 1 хв, діаметр краплин до 350 мкм та їх швидкість 2 – 3 м/с [5]). Ропилувач виготовляється відповідно ТУ У 29.3-31177688-002:2006, пройшов випробування в шахтах „Трунівська”, „Стаханова”, „Краснолиманська” та „Білоріченська”.

Взаємодія краплин з вугіллям. Запиленість повітря в виробці буде у межах санітарної норми, якщо вона блокується від попадання в неїпилу зовні, пил подавляється у пунктах перевантаження, вугілля на конвеєрній стрічці змочене, а товщина плівки води достатня для утримання від здування вентиляційним повітрям з конвеєра найбільш небезпечного пилу крупністю до 5 мкм.

Ці завдання вирішуються за допомогою використанням високодисперсного факелу з оптимальною щільністю і швидкістю краплин.

Змочуваність вугілля (краєвий кут змочування 60 – 85° [1]) залежить від петрографічного складу, ступеню окисненості, адгезійної активності та пористості.

У початковій фазі зіткнення з твердою поверхнею краплина деформується з утворенням плями [6], межа якої (рис. 1, а)

$$a = [2RV_0t - (V_0t)^2]^{1/2},$$

де a – радіус плями, м;

R – радіус краплини, м;

V_0 – швидкість краплини, м/с;

t – час, с.

Швидкості деформації і ударної хвилі по поверхні краплини вирівнюються після досягнення $\sin \varphi_* = V_0/c$ (де $c \approx 1500$ м/с – швидкість звуку у воді). Радіус плями $a_* = R \sin \varphi_*$, час, за який закінчується деформація при

$V_0 \ll c$ становитиме $t \approx 2R/V_0$, після чого починається її розтікання під дією сил адгезії.

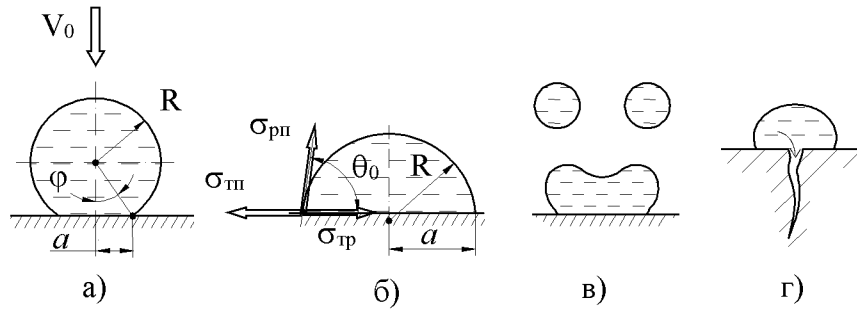


Рис. 1. Взаємодія краплин з поверхнею вугілля.
 а – краплина при зіткненні з поверхнею;
 б – краплина після розтікання по поверхні;
 в – відскок краплини від поверхні;
 г – всмоктування води у вугілля.

Краплина, що осідла (рис. 1, б), набуває форми кульового сегмента з рівноважним кутом θ_0 , який визначається за формулою Юнга:

$$\cos \theta_0 = (\sigma_{тп} - \sigma_{тр}) / \sigma_{рп},$$

де $\sigma_{тп}$ – поверхневий натяг між твердим тілом і повітрям, м;

$\sigma_{тр}$ – поверхневий натяг між твердим тілом і рідиною, м;

$\sigma_{рп}$ – поверхневий натяг між рідиною і повітрям, м;

З рівності об'ємів краплини і сегмента радіус плями $a = d_k f_1 \sin \theta_0$ при $f_1 = [2(1 - \cos \theta_0)^2 (2 + \cos \theta_0)]^{-1/3}$, де d_k – діаметр краплини, м.

Площа плями краплини і-того діаметра $s_i = \pi \cdot a_i^2$. При відомих розподілі краплин в факелі та їх кількості на одиниці поверхні отримаємо загальну площу плям $S = \sum_{i=1}^n s_i \cdot n_i$ (n_i – кількість краплин і-того діаметра), об'єм води в

краплинах $Q = \sum_{i=1}^n (\pi d_{ki}^3 n_i) / 6$, товщину плівки δ після розтікання по поверхні.

Розтікання починається з поверхневої дифузії молекул із закрайки краплини та утворення плівки завтовшки 1 мкм. Залишки краплини розтікаються по плівці з швидкістю, яка залежить від мікрорельєфу, пористості, окиснення поверхні та визначає час змочування вугілля. Відповідно до експе-

риментальних даних [7] час розтікання залежить від марки вугілля. Тому осадження краплин за схемою (на рис. 1, б) дозволяє змочити вугілля дозованою по товщині плівкою, яка забезпечує зв'язування пилу на поверхні вугілля і впливає на його змерзаємість взимку. Зв'язана вода замерзає при температурі нижчій $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$, тому, якщо волога утворює адсорбційний шар, вугілля не змерзається. Прилегла до адсорбційного шару вода замерзає також при температурі нижчій чим температура замерзання води [8].

Краплина розплющується при зіткненні з поверхнею вугілля (рис. 1, в), а водяний пил зноситься повітрям, якщо кінетична енергія

$$E_k = \frac{1}{6} \pi d_k^3 \frac{\rho V_0^2}{2},$$

(де ρ – густина води) більша від поверхневої

$$E_{\pi} = \pi d_k^2 \sigma_{\text{рп}}.$$

Якщо $E_k = E_{\pi}$, то число Вебера $We = d_k \rho V_0^2 / \sigma_{\text{рп}} = 12$. Це число називають критичним We_* . Тому основною вимогою до високодисперсного факелу є забезпечення швидкості зіткнення краплин з поверхнею вугілля, при якій $We < 12$.

Вода із змоченої поверхні вугілля втрачається внаслідок всмоктування у відкриті пори і тріщини (рис. 1, г). У розрахунках витрата води на змочування приймаємо, що втрата на всмоктування в вугілля є на рівні об'єму пор.

Швидкість краплин і повітря в факелі. Швидкість краплин залежить від руху повітря в факелі. У ядрі (рис. 2) на початковій ділянці факелу l_{π} швидкість краплин така, як і на виході з сопла. Низький статичний тиск в ядрі зумовлює всмоктування повітря через поверхню і формування струменя з кутом $2\alpha_{\pi}$ в факелі з кутом $2\alpha_c$. Відомо, що при об'ємній концентрації краплин в потоці $< 0,02$, вони рухаються як одиночні. Якщо концентрація більша від критичної, краплини переміщуються сумісно з повітрям, напри-

клад як хмари в атмосфері. Такий рух факелу досліджував М. М. Сімаков [8].

Швидкість повітря в струмені при математичному моделюванні факелу

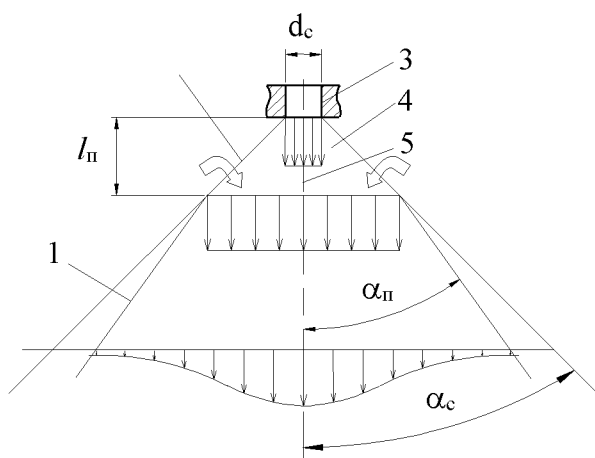


Рис. 2. Схема руху краплин і повітря в факелі.
1 – струмінь повітря; 2 – поверхня факелу;
3 – сопло; 4 – факел; 5 – ядро;

лу відцентрового розпилювача Ф 0.3.10 визначали за формулами [9]. В [5] наведені дані по швидкості краплин в факелі на відстані 0,6 м від розпилювача. Критичне число $We^* = 12$ при зіткненні мають краплини води діаметром більше 207 мкм, кількість яких в факелі менше 2,3 %.

Осадження краплин на конвеєрну стрічку. Грудки вугілля насипаються на конвеєрну стрічку гіркою, тому краплини стикаються з поверхнею зрошування під кутом α (рис. 3). Для зв'язування пилу необхідно утворити на поверхні вугілля плівку води товщиною $h = r_{\text{п}}(1 + \cos \theta_0)$, де $r_{\text{п}}$ – радіус пилинки, м; θ_0 – крайовий кут змочування вугілля.

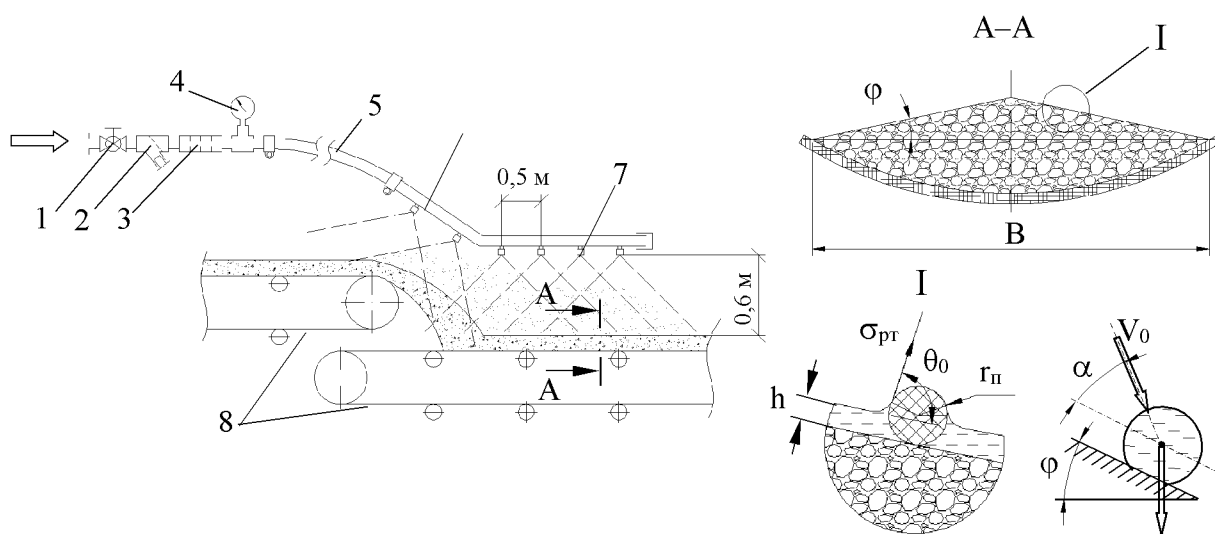


Рис. 3. Блок зрошувальний стрічкового конвеєра.
1 – шаровий кран; 2 – фільтр; 3 – пакетний дросель; 4 – манометр; 5 – рукав;
6 – колектор; 7 – відцентрові розпилювачі; 8 – конвеєр;

Для вугілля марки Д ($\theta_0 = 60^\circ$) необхідна товщина плівки для захвата пилинки $h=5,25$ мкм. Найбільш небезпечний пил до 5 мкм буде накритий плівкою.

Мінімальний об'єм води, який необхідний для утворення плівки залежно від швидкості $U_{\text{кк}}$ конвеєрної стрічки

$$Q = \psi B h U_{\text{кк}} / \cos \varphi$$

де ψ – геометричний коефіцієнт форми кусків вугілля;

B – ширина гірки вугілля, м.

Приклад: при $\psi = 2$, $U_{\text{кк}} = 2$ м/с і $B = 1$ м, $h = 5,25$ мкм отримуємо максимальну витрату води $Q_{\text{max}} = 1,83$ л/хв.

Блок зрошувальний для змочування вугілля та осаджування пилу на пунктах перевантаження на стрічковому конвеєрі показаний на рис. 3. Вода з шахтного водопровода через пристрій управління, а потім через рукав надходить у колектор зрошувача і через відцентрові форсунки розпилюється на стрічковий конвеєр, завантажений вугіллям. Фільтр призначений для захисту пакетного дроселя від забивання випадковими зависами в воді. Пакетний дросель знижує тиск шахтного водопроводу до 0,3 МПа. Форсунки розміщені за умов зрошення всієї поверхні вугілля на конвеєрній стрічці.

Відцентровий розпилювач при швидкості 1,8 м/с руху поверхні, яка змочується, забезпечує осадження 205 краплин на 1 см² з розподілом діаметрів наведеним в [5]. При шести розпилювачах для вугілля марки Д ($\theta_0 = 60^\circ$) і К ($\theta_0 = 85^\circ$) площа плям від краплин буде 3,6 і 2,4 % відповідно, об'єм $1,54 \cdot 10^{-4}$ см³ достатній для утворення плівки 9,2 мкм, а з урахуванням можливих втрат на всмоктування в пори і тріщини $\delta \approx 8$ мкм. При цьому питома витрата води становитиме 1,2 л/т гірничої маси. Дослідження на шахтах підтвердили, що концентрація пилу після пунктів перевантаження не більше фонові в виробці.

Підсумок. Високодисперсний факел з діаметром краплин до 350 мкм і швидкістю 2 – 3 м/с змочує вугілля з утворенням плівки протрібною для зв'язування найбільш небезпечного пилу завтовшки 5 мкм.

Відцентровий розпилювач Ф 0.3.1.0 дозволив створити надійний і довговічний зрошувальний блок пункту перевантаження вугілля на конвеєрній стрічці з витратою води з шахтного водопроводу 1,2 л/т гірничої маси на змочування і пилоосадження, при якій фонові запыленість у виробці на рівні санітарних норм не змінюється.

Література

1. Физико-химические основы гидрообеспыливания и предупреждения взрывов угольной пыли// В. Н. Саранчук, В. Н. Качан, В. В. Рекун и др. – Киев: Наук. Думка, 1984.
2. Новые способы борьбы с пылью в угольных шахтах// Гельфанд Ф. М., Журавлев В. П., Полуев А. П., Рыжих Л. И., – М., Недра, 1975.
3. Інструкція з комплексного знеилювання повітря: НПАОП 10.0 – 5.23 – 04. – Київ, 2004.
4. Параметрический ряд унифицированных форсунок для орошения в угольных шахтах. – Макеевка, МакНИИ, 1971.
5. Коваль В. П., Мележик О. І. Відцентровий розпилювач// Карантин і захист рослин. – 2005.– № 3.
6. Эдлер У. Ф. Механика ударного воздействия жидкости// Под ред. К. Прис, – М.: Мир, 1982.
7. Смачивание пыли и контроль запыленности воздуха в шахтах// Кудряшов Р. Р., Воронина Л. Д., Шуринова М. К. и др. – М.: Наука, 1979.
8. Симаков Н. Н. Кризис сопротивления капель при переходных числах Рейнольдса в турбулентном двухфазном потоке факела распыла механической форсунки //ЖТФ. – 2004. –Т. 72. –Вып. 2.
9. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя//. Пер. с нем. – М.: Наука, 1974.