

ЗНЕПИЛЮВАННЯ ПОВІТРЯ У ГІРНИЧІЙ ВИРОБЦІ ВИСОКОДИСПЕРСНОЮ ВОДЯНОЮ ЗАВІСОЮ

(Статтю опубліковано українською мовою в журналі «Уголь України» № 10 за 2008 рік)

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

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту

Запиленість вентиляційного повітря після підготовчих та видобувних забоїв вугільних шахт суттєво перевищує допустиму [1]. За умови змочування вугілля і пилоподавледння на конвеєрних пунктах перевантаження [2] необхідне блокування доступу пилу в гірничі виробки.

Інструкцією по комплексному знепилюванню повітря [3] передбачено використання водяних і водоповітряних завіс з витратою води 0,1 і 0,05 л/м³ відповідно. Завіси розміщують на відстані не більше 20 м від вікна лави у напрямку руху повітря з перекриттям перерізу виробки розпиленою водою. Одна завіса на 500 м³/хв. повітря, а при двох або більшій кількості завіс відстань між ними 3 ÷ 5 м. Вміст пилу в повітрі після завіси не нормується.

МакНДІ рекомендує [4] застосовувати для утворення завіс плоскоструменеві розпилювачі з кутом факела 125 ÷ 165 °. Кількість розпилювачів повинна бути такою, щоб забезпечувалась витрата води відповідно [3].

Досвід свідчить, що водяні завіси з такими розпилювачами не знижують вмісту пилу до санітарних норм, а водоповітряні завіси потребують додаткової подачі повітря в розпилювач, тому в шахтах вони застосовуються мало.

Знепилення вентиляційного повітря у виробці завісою з краплинами до 350 мкм, що утворюється за допомогою відцентрових розпилювачів Ф 0.3.1.0 ТУ У 29.3-31177688.002.2006 [5] з витратою води 1 л/хв. при тиску 0,3 МПа, досліджується в статті.

Високодисперсна водяна завіса. Вода розпиляється відцентровими розпилювачами, встановленими на колекторі, який зігнуто по контуру склепіння (рис. 1.). Краплини води заповнюють переріз, рухаються через запилене повітря і уловлюють пил, після чого осаджуються на підшву виробки. Завіса повинна закривати переріз виробки шаром краплин, непроникним для пилу.

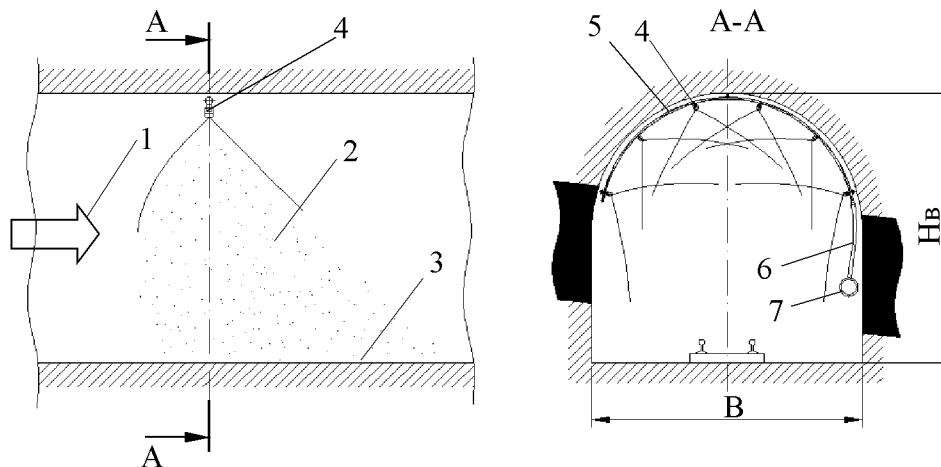


Рис. 1. Гірнична виробка з розпилювачами води
 1 – запилене повітря, 2 – факел розпиленої води, 3 – підшва виробки, 4 – розпилювач, 5 – колектор, 6 – з'єднувальний рукав, 7 – протипожежний трубопровід

Кількість розпилювачів, відстань між ними і положення відносно напрямку руху повітря визначаємо за допомогою математичного моделювання руху і випаровування краплин. Розрахунки виконані для водяної завіси, яка утворюється з застосуванням шести розпилювачів в виробці розмірами $H_B=3,5$ м і $B=3,5$ м при швидкості повітря 2 м/с. Температуру і відносну вологість повітря приймали за даними [1] 30 °С, $\phi = 75\%$ і 94%, температуру води 25 °С.

На рис. 2 показані межі, в яких рухаються краплини 52 ÷ 350 мкм на відстані $x = 2$ м, а для краплин 300 мкм при $x = 0,6 \div 5$ м. Під дією повітря відбувається розшарування краплин в завісі. Краплини < 52 мкм рухаються біля стінок виробки і в межах завіси залишаються в повітрі. Краплини 350 мкм осідають на відстані 2 ÷ 5 м, в залежності від висоти розпилювача над підшвою та кута вильоту крапель з сопла.

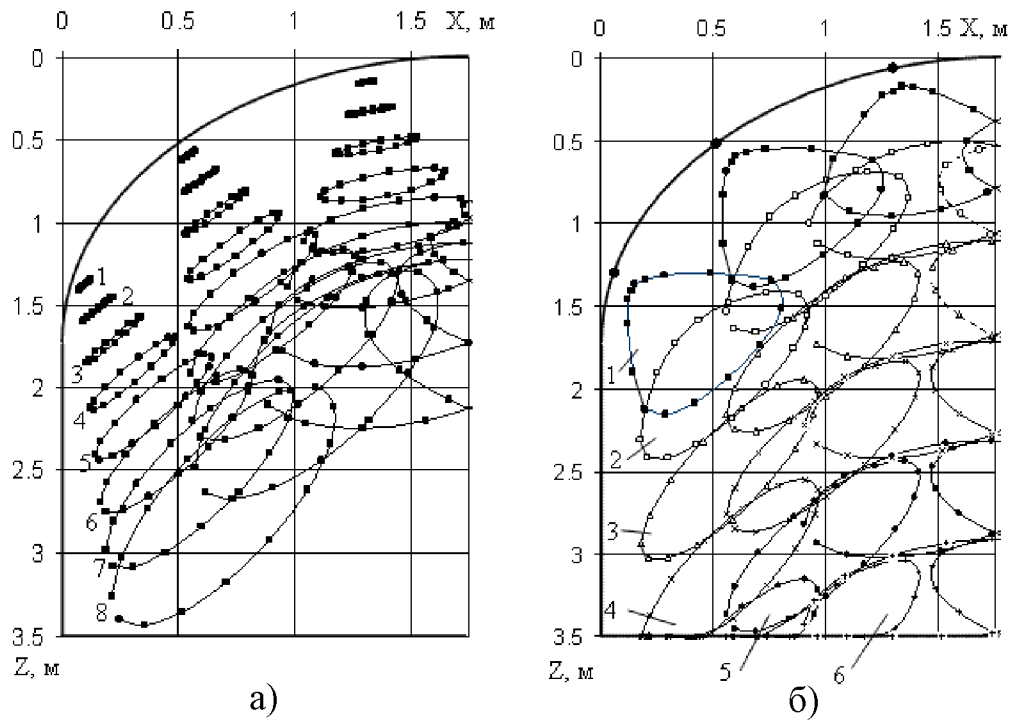


Рис. 2. Поперечний переріз завіси при швидкості повітря 2 м/с:
 а) на відстані 2 м від дуги, діаметр крапель, мкм: 1 - 52; 2 - 95; 3 - 137; 4 - 180;
 5 - 222; 6 - 265; 7 - 306; 8 - 350; б) для краплі $d_k = 300$ мкм на відстані від дуги:
 1 - 0,6 м; 2 - 1 м; 3 - 2 м; 4 - 3 м; 5 - 4 м; 6 - 5 м

Маса води, яка осідає на підшлву і залишається в повітрі показана на рис. 3. На відстані до 40 м при вологості повітря 75 % та 94 % осідає відповідно 82,2 % та 91,9 %, а втрати на випаровування складають відповідно 13,8 % та 2,3 %.

Внаслідок випаровування відносна вологість повітря за завісою збільшується з 75 % до 87 % і з 94 % до 97 %, а температура зменшується з 30 °C до 27,5 та 29,4 °C.

В залежності від термодинамічного стану в виробці температура краплі t_k та втрата маси на випаровування показані на рис. 4. При вологості 75 % вода охолоджується в середнім до 24,9 °C, а при 94 % нагрівається до 29,8 °C.

Повністю випаровуються краплини діаметром < 29 мкм при $\phi = 75$ %, а при $\phi = 94$ % не випаровуються навіть краплини 17,1 мкм.

Приведені розрахунки свідчать, що втрата маси води на випаровування в високодисперсній водяній завісі та підвищення вологості

повітря не є перешкодою її застосування при знепилюванні до санітарних норм.

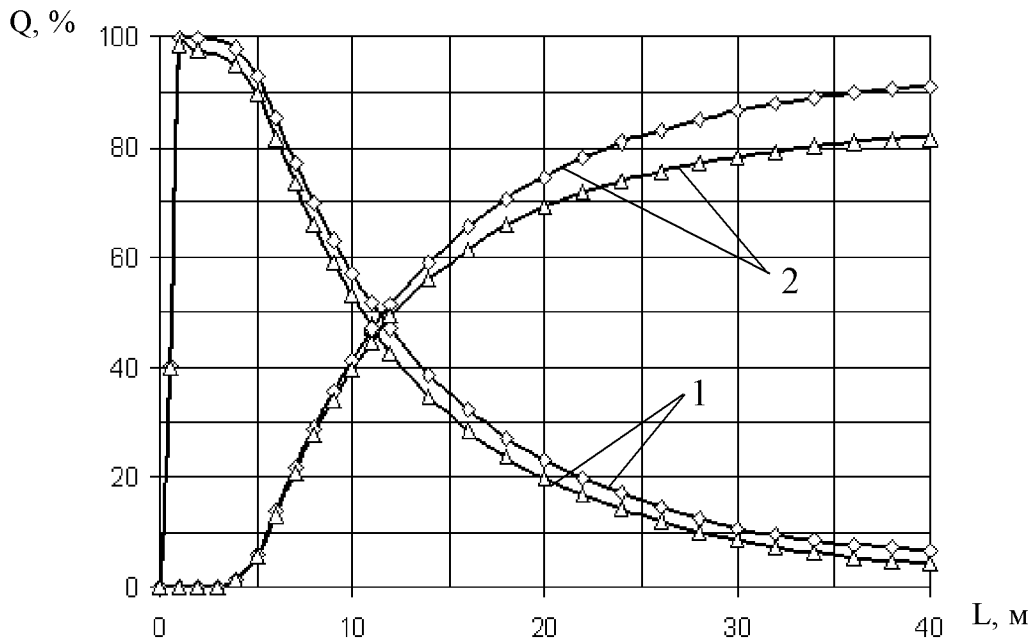


Рис. 3. Маса розпиленої води в повітрі (1) та на підшві виробки (2) при φ , %: Δ – 75, \diamond – 94;

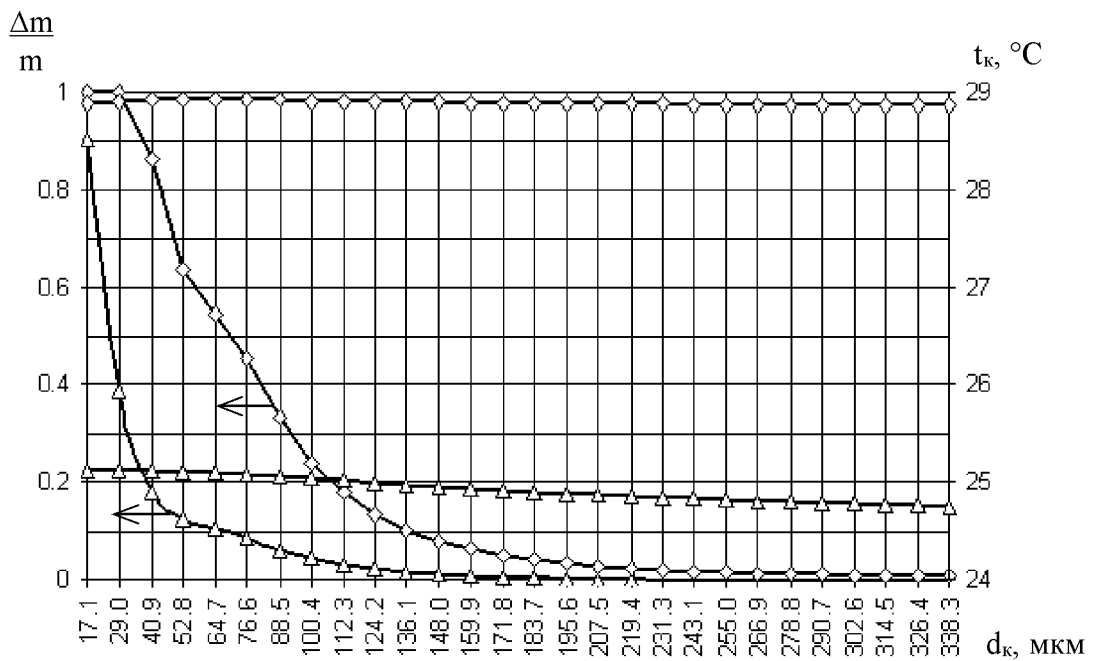


Рис. 4. Витрата маси і температура краплин при φ , %: Δ – 75, \diamond – 94;

Уловлювання пилу краплинами води. Схема зближення пилінки з краплиною води показана на рис. 5, при супутньому а і поперечному б русі краплин і запиленого повітря.

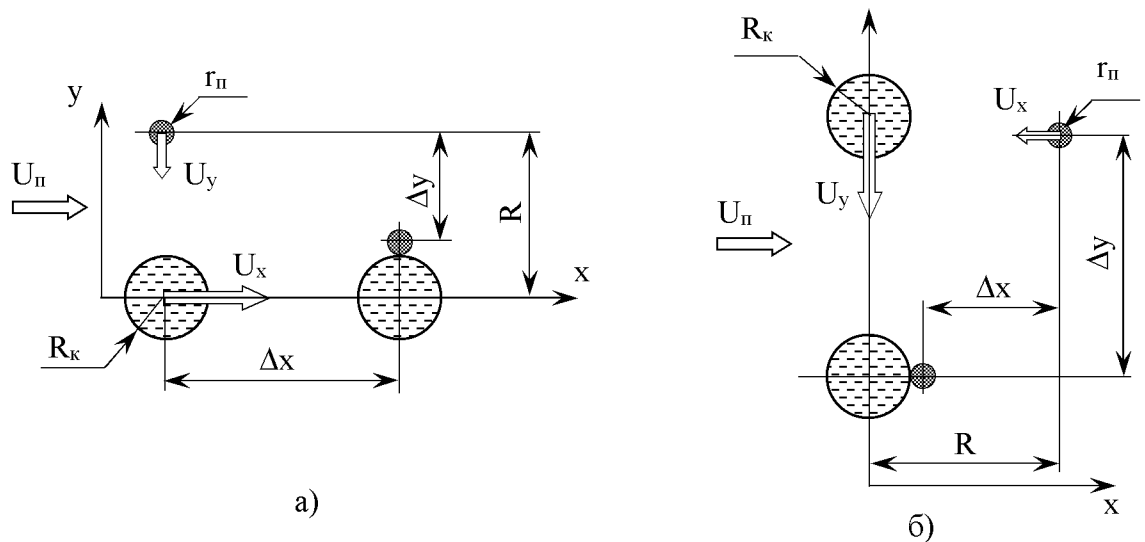


Рис. 5. Сема зближення пилинки з краплиною води

По схемі *a*, характерній високодисперсній водяній завісі, об'єм повітря, яке промивається від пилу краплиною води

$$\Delta V = \pi(R_k + r_{\text{п}} + \Delta y)^2 \cdot \Delta x, \quad (1)$$

де R_k , $r_{\text{п}}$ – радіус краплини і пилінки відповідно.

Переміщення краплини в потоці

$$\Delta x = U_x \Delta \tau, \quad (2)$$

де U_x – швидкість краплини, $\Delta \tau$ - час супутнього руху краплини і пилінки.

Поперечне переміщення пилінки відносно краплини

$$\Delta y = U_y \Delta \tau, \quad (3)$$

а, об'єм повітря, що промивається

$$\Delta V = \pi \left(R_k + r_{\text{п}} + U_y \frac{\Delta x}{U_x} \right)^2 \cdot \Delta x, \quad (4)$$

Якщо краплина рухається перпендикулярно до напрямку руху повітря, що характерно для завіси щілинного розпилювача

$$\Delta V = \pi \left(R_k + r_{\text{п}} + U_x \frac{\Delta y}{U_y} \right)^2 \cdot \Delta y, \quad (5)$$

Об'єм знепиленого повітря

$$V = N \cdot \Delta V, \quad (6)$$

де $N = \frac{6 \cdot Q}{\pi \cdot d_{32}^3}$ - кількість краплин в завісі. Діаметр краплин при визначенні N приймаємо як середній об'ємно-поверхневий d_{32} (по Заутеру).

З (4), (5) видно, що $\Delta V \sim R_k^2$, а з (6) $V \sim \frac{1}{R_k^3} \Delta V$. Об'єм знепиленого повітря прямо пропорційний $1/R_k$. Високодисперсна завіса забезпечує збільшення об'єму, що знепилюється. Об'єм $\Delta V \sim \frac{1}{U^2}$, тобто швидкість краплин повинна бути меншою для збільшення часу зіткнення з пилинкою. Оскільки $\Delta V \sim \Delta x^3$, то більш ефективним є рух краплини повздовж виробки, а не вертикально, бо Δu обмежена висотою виробки.

Рух пилинок до краплин зумовлений гідравлічним осадженням та дією аеродинамічних сил від пульсацій швидкості в турбулентному потоці

В спокійному повітрі швидкість гравітаційного осідання пилинок кварцу 10 мкм – 7,95 мм/с, а 1,5 мкм – 0,18 мм/с [6].

Відповідно даним [7] при $Re = \frac{U_{cp} D}{\nu} = 5 \cdot 10^5$, де U_{cp} – середня швидкість повітря, D – діаметр труби, ν - кінематична в'язкість повітря, біля осі труби поздовжні і поперечні пульсації швидкості $U_x^l \approx U_y^l = 0,03 \cdot U_{cp}$. В виробці з гідравлічним діаметром $D_r = 3,5$ м, $U_{cp} = 2$ м/с, $\nu = 15,6 \cdot 10^{-6}$ м²/с число $Re = 5,46 \cdot 10^5$, а пульсація швидкості $U_x \approx U_y = 60$ мм/с. Пилінки менше 10 мкм слідує за пульсаціями швидкості, тому розрахунки виконуємо з $U_x = U_x^l$, а $U_y = U_y^l$.

Максимальна відстань, на яку переміщується пилінка внаслідок пульсації швидкості, не перевищують діаметрів вихорів в потоці. Зважаючи на помірну швидкість потоку масштаб пульсації або розмір вихорів наближено дорівнює $1 \div 1,2$ мм [7].

При математичному моделюванні визначаємо траєкторії краплин, їх швидкості і час перебування в водяній завісі, щільність завіси та відстань

між краплинами, для яких досягається її непроникність для пилинок. Відповідно з розрахунками достатня середня густина потоку в такій залежності $q = 0,1 \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ год}$ при відстані між краплинами $< 2 \text{ мм}$.

Блок зрошувальний гірничої виробки. До складу блоку входить зрошувач в формі дуги і пристрій управління (рис. 6). Зрошувач складається з колектора 1 і відцентрових розпилювачів 2. До пристрою управління, який встановлюється в виробці для зручності обслуговування, зрошувач приєднується за допомогою рукава 3. Пристрій управління має в своєму складі шаровий кран 4 сітчастий фільтр 5 з вічком 0,5 мм, пакетний дросель 6 з шайб з отвором 2 мм, манометр 7. Кількість дросельних шайб вибирається при налагодженні блоку за умови зниження тиску в зрошувачі до $0,3 \pm 0,05 \text{ МПа}$ при тиску в шахтному водопроводі $0,5 \div 3 \text{ МПа}$. Пристрій управління може застосовуватись для двох зрошувачів, встановлених на відстані до 5 м.

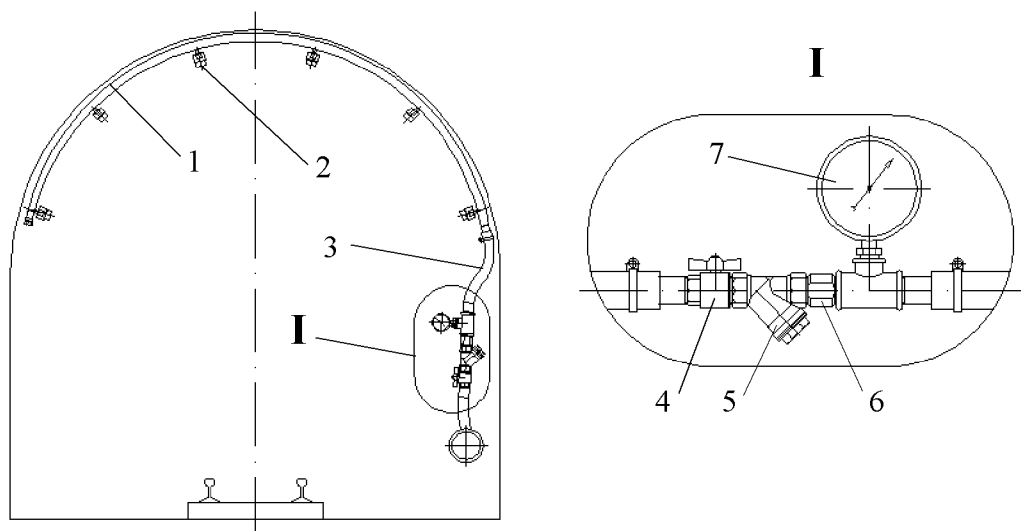


Рис. 6. Блок зрошувальний гірничої виробки
1 – колектор, 2 – розпилювач, 3 – з'єднувальний рукав, 4 – шаровий кран,
5 – фільтр, 6 – пакетний дросель, 7 - манометр

Вода з шахтного водопроводу через пристрій управління поступає в зрошувач і розпиляється для створення водяної завіси. Дослідні зразки блока зрошувального пройшли випробовування і є позитивний досвід їх експлуатації в шахтах «Трунівська» і «Білоріченська».

Підсумок. Високодисперсна водяна завіса з краплин до 350 мкм при питомій витраті води 0,012 л/м³ повітря уловлює пил в гірничій виробці зі зниженням його вмісту до санітарних норм.

Література

1. Куляс В. М. Гигиеническая оценка профессионального риска хронического пылевого бронхита у горнорабочих очистного забоя угольных шахт. *Вестник гигиены и эпидемиологии*. Том 8. №1, 2004. – с. 67-78.
2. Коваль В. П., Соловйов Д, І., Змочування вугілля високодисперсним факелом води. *Уголь Украины*, № 11, 2007. – с. 35-37.
3. НПАОП 10.0 – 5.23 – 04. Інструкція з комплексного знепилювання повітря. Затв. Держнаглядохоронпраці України 26.10.2004 р. № 236. – 14 с.
4. Параметрический ряд унифицированных форсунок для орошения в угольных шахтах. *МакНИИ, Макеевка*, 1971. 12 с.
5. Коваль В. П., Мележик О. І. Відцентровий розпилювач// *Карантин і захист рослин*, № 3, 2005. – с. 28 – 29.
6. Недин В. В., Нейков О. Д. Современные методы исследования рудничной пыли и эффективности противопылевой вентиляции. «Недра», М., 1967. – 171с.
7. И. О. Хинце. Турбулентность её механизм и теория/ пер. с англ. О. В. Яковлевского, Госиздат физ.-мат. лит., М., 1963. – 671с.