

6. ОСПУ-2005. Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України. – 2005.

ABSTRACT

Purpose. The aim is analysis of radiation-contaminated sites at the industrial site of former industrial association "Pridneprovskiy Chemical Plant" and training materials to study the boundaries of sanitary protection zones of radiation-contaminated objects.

The methods The method of field dosimetric measurements and laboratory spectrometric analysis was used.

Findings. The results of the research the following conclusions: conservatively estimated total effective dose working in the area of radiation-contaminated objects (tailings "Western", "Central Jar", "South East", the area near the house. 103.104 and other objects) is about 1 mSv. In rare places (tailing "Central Yar"), they may exceed 3 mSv.

The originality. For the first time, the analysis of effective radiation doses in the area of tailing dumps and justified the requirements for the size of the sanitary protection zone.

Practical implications. This method can be used in the design of sanitary protection zones of uranium objects

Keywords: volume activity, equivalent dose, gamma, uranium facilities, industrial site.

УДК 504.3.054:622.012.3

© О.М. Савотченко, О.В. Зберовський

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ НЕІЗОТЕРМІЧНИХ РЕАКТИВНИХ ПАРОВОДО-ПОВІТРЯНИХ СТРУМЕНІВ ДЛЯ ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ ВІД ПИЛОГАЗОВИХ ВИКИДІВ НА КАР'ЄРАХ

© O. Savotchenko, O. Zberovskyi

METHODOLOGY FOR CALCULATING NON-ISOTHERMAL REACTIVE STEAM-WATER-AIR JETS TO PROTECT THE ENVIRONMENT FROM DUST AND GAS EMISSIONS IN QUARRIES

У статті представлена методика розрахунку неізотермічних реактивних паро-водо-повітряних струменів для захисту навколишнього середовища від пилогазових викидів на кар'єрах.

В статье приведена методика расчета неізотермических реактивных паро-водо-воздушных струй для защиты окружающей среды от пылегазовых выбросов на карьерах.

Вступ. Україна є одним з основних лідерів у світі за розвіданими запасами залізної руди, котра добувається як підземним, так і відкритим способом в основному в Дніпропетровській та Полтавській області. Кар'єри України – це сучасні гірничопромислові комплекси, котрі постійно підтримують свою виробничу діяльність. Гірничодобувна промисловість є однією з галузей, що здійснює найбільший антропогенний вплив на довкілля, що проявляється в кількох основних напрямках: порушення земної поверхні під час розробки родовищ корисних копалин, утворення відходів, викиди в атмосферне повітря газових та пилових шкідливих речовин та забруднення водних ресурсів рідкими відходами гірничих підприємств. Наприклад, на гірничо-збагачувальних комбінатах Дніпропетровської області щорічно в атмосферу потрапляє майже 65 тисяч тон забруднюючих речовин, у тому числі: 15 тис. т твердих та 50 тис. т газоподібних речовин.

У переважній більшості кар'єрів підготовка гірничих порід для виїмки відбувається буро-вибуховим способом. Масові вибухи на кар'єрах є періодичними джерелами надходження в атмосферу великої кількості пилу та вибухових газів, які утворюють пилогазову хмару (ПГХ) (рис. 1), котра підіймається на висоту до 800 м, розповсюджується та осідає на земну поверхню, у тому числі в житлових районах і на сільськогосподарських угіддях, що створює відчутні негативні ефекти в радіусі до 20 км від кар'єру. Так, концентрація пилу в повітрі при масових вибухах 600-800 т вибухової речовини досягає 1200-2800 ГДК на відстані 1 км від кар'єру і до 90 ГДК на видаленні 10 км [1].

Тому захист довкілля від пилогазових викидів при масових вибухах на кар'єрах є актуальною природоохоронною і соціальною задачею забезпечення екологічної безпеки у промисловій зоні гірничих робіт та на прилеглої до неї території.



Рис. 1. Утворення ПГХ при вибуху в кар'єрі

Формулювання мети дослідження. Створити методику розрахунку неізотермічних реактивних паро-водо-повітряних струменів для захисту довкілля від пилогазових викидів на кар'єрах.

Викладення основного матеріалу дослідження. Відомі на теперішній час технічні рішення боротьби з пилогазовими викидами при масових вибухах у кар'єрах у той чи іншій мірі дозволяють зменшити кількість шкідливих викидів у повітря, однак повністю проблему захисту довкілля від шкідливого впливу ПГХ не вирішують.

Нами для ефективного пилогозаподавлення ПГХ запропоновано комплексний вплив на епіцентр хмари як пасивними так і активними способами, застосування яких поєднано в розробленій установці для захисту довкілля при вибухових роботах у кар'єрах [2]. Установа призначена для зниження запиленості та подавлення вибухових газів способом гідрознепилення з використанням полідисперсних (паро-водо-повітряних) струменів, що створюються турбореактивними авіаційними двигунами типу ВК-1А. Установа дозволяє вирішити наступні завдання:

- забезпечення покриття паро-водо-повітряним струменем необхідної площі;
- досягнення необхідної висоти подачі струменю;
- досягнення необхідної дальності струменю з урахуванням дислокації установки, робочого майданчика та рози вітрів;
- забезпечення заданих параметрів паро-водо-повітряного струменю у кар'єрі (профіль розподілу швидкостей і рідкої фази по перетину струменю, вмісту і дисперсності водяної фракції та ін.).

Для оцінки ефективності роботи установки було запропоновано методику розрахунку параметрів неізотермічних паро-водо-повітряних реактивних струменів. При цьому було розглянуто задачу поширення неізотермічного струменю, бо на виході з сопла двигуна ВК-1А реактивний струмінь має температуру більше 600°C та швидкість більше 550 м/с . Також необхідно враховувати процес змішування струменю з атмосферним повітрям при розрахунку поширення струменю, бо його склад газів може значно відрізнитися від складу газів атмосферного повітря.

Для спрощення розрахунку будемо вважати, що у вихідному перетині струмінь входить у супутній потік з постійною швидкістю u_H та має рівномірний профіль швидкостей u_0 .

Було розглянуто три ділянки струменю:

- початкова ділянка;
- перехідна ділянка;
- основна ділянка.

На початковій ділянці струменю характерне збереження потенційного ядра струменю з такими самими параметрами, як і у вихідному перетині. Пограничний шар струменю (ділянки між границею ядра $y_1(x)$ та границею струменю $y_2(x)$) характеризується безперервною зміною поздовжньої швидкості u , щільності ρ , температури T та концентрації газу зовнішнього потоку c від їх значень

у супутньому потоці струменю: u_H, ρ_H, T_H та c_H до їх значень всередині потенційного ядра: u_0, ρ_0, T_0 та c_0 .

На деякій відстані x_{II} від вихідного перетину даний потік приймає вигляд потоку, що виникає з точкового джерела, що розташоване трохи позаду від вихідного перетину.

Перехідна ділянка струменю - ділянка між перетином x_H , у котрій закінчується початкова ділянка та після котрої починається основна ділянка. Її довжина $x_{II} - x_H$ порівняно невелика і тому в розрахунках нею часто нехтують, вважаючи, що перехідний перетин x_{II} приблизно співпадає з перетином x_H .

Особливість струменів полягає в тому, що профіль швидкості у пограничному шарі початкової та основної ділянок струменів є автотельним, а остання властивість характерна як для стиснених, так і для нестиснених дозвукових неізотермічних струменів. Розподіл щільності, температур та концентрації домішки як у пограничному шарі, так і на основній ділянці струменю (тільки по закону, що відрізняється від закону розподілу швидкостей) є автотельними.

Профіль швидкостей в пограничному шарі змішування на початковій ділянці струменя з достатнім ступенем точності може бути представлений профілем Шліхтінга:

$$\frac{u_0 - u}{u_0 - u_H} = (1 - \eta_H^{3/2})^2 \quad (1)$$

або

$$\frac{u - u_H}{u_0 - u_H} = 2\eta_H^{3/2} - \eta_H^3 = f_H(\eta_H), \quad (2)$$

де позначено:

$$\eta_H = \frac{y_2 - y}{y_2 - y_1}, \quad (3)$$

де $y_1(x)$ та $y_2(x)$ - ординати відповідно внутрішньої і зовнішньої меж зони змішування.

Відзначимо, що залежності (1-3) мають місце як для плоского струменю, так і для асиметричного: в останньому випадку $y_1(x)$ означає поточний радіус потенційного ядра (внутрішня межа області змішування), а $y_2(x)$ - поточний радіус межі струменю (зовнішня межа області змішування).

На основній ділянці струменю також має місце автотельність профілю швидкості u , який можна описати формулою Шліхтінга:

$$\frac{u - u_H}{u_m - u_H} = (1 - \eta^{3/2})^2 = f(\beta), \quad (4)$$

де u_m - максимальна швидкість на осі струменя в даному перетині x , а

$$\eta = \frac{y}{y(x)}, \quad (5)$$

де $y_2(x)$ - товщина струменя в даному перетині.

На основній ділянці струменю величина швидкості u_m на вісі струменю падає зі збільшенням x і заздалегідь невідома.

Численні експериментальні дані показують, що в шарі змішування на початковій ділянці струменю профіль ентальпії і профіль концентрації домішки є універсальними.

Введемо наступні дані:

T_0 – температура струменю;

C_{p0} – питома теплоємність (при постійному тиску);

ρ_0 – щільність струменя;

$i_0 = C_{p0}T_0$ – ентальпія струменя;

T_H – температура зовнішнього потоку;

ρ_H – щільність зовнішнього потоку;

$C_{pH}T_H$ – ентальпія зовнішнього потоку;

c - концентрація домішки газу зовнішнього потоку (повітря) в суміші газу в струмені.

В області змішування з великим ступенем достовірності виконується співвідношення:

$$\frac{i - i_H}{i_0 - i_H} = \frac{c - c_H}{c_0 - c_H} = [f_H(\eta_H)]^{Pr}, \quad (6)$$

де Pr - турбулентне значення Прандтля.

Для плоских струменів з великою точністю:

$$Pr = 0,5; \quad (7)$$

для асиметричних струменів:

$$Pr = 0,75 \div 0,80 \quad (8)$$

У межах початкової ділянки струменя на осі струменю $c_0=0$, а на зовнішній межі $c_H = 1$, тому з (6) маємо також:

$$c = 1 - [f_H(\eta_H)]^{Pr} \quad (9)$$

Питома теплоємність суміші C_p визначається за відомою формулою:

$$C_p = C_{p0}[1 - c] + C_{pH}c \quad (10)$$

Що з урахуванням (9) для теплоємностей дає залежність:

$$\frac{C_p - C_{p0}}{C_{p0} - C_{pH}} = [f_H(\eta_H)]^{Pr} \quad (11)$$

а для надмірної температури - залежність:

$$\frac{T - T_H}{T_0 - T_H} = \frac{[f_H(\eta_H)]^{Pr}}{k + (1 - k)[f_H(\eta_H)]^{Pr}}, \quad (12)$$

де $k = C_{pH} / C_{p0}$.

Розподіл щільності поперек шару змішування визначається рівнянням Клайперона, представлене в наступному вигляді:

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \frac{i_0}{i} \frac{1 - c(1 - k)}{1 - c(1 - k\mu)}, \quad (13)$$

де $k_\mu = \mu_0 / \mu_H$; μ_0 и μ_H - молекулярна маса газу струменю і зовнішнього потоку (повітря).

Профіль температур у випадку, якщо струмінь витікає в супутній потік того ж газу ($k=1$), але має відмінну температуру, аналогічно (12), має вигляд:

$$\frac{T - T_H}{T_0 - T_H} = [f_H(\eta_H)]^{\text{Pr}} \quad (14)$$

Якщо щільності струменю ρ_0 і навколишнього потоку ρ_H близькі між собою, то замість (14) можна скористатися лінійною залежністю:

$$\frac{T - T_H}{T_0 - T_H} = \eta_H, \quad (15)$$

а для визначення профілю швидкостей на основній ділянці струменя - залежністю:

$$\frac{i - i_H}{i_m - i_H} = \frac{c - c_H}{c_m - c_H} = [f(\eta)]^{\text{Pr}} \quad (16)$$

де i_m и c_m - ентальпія і концентрація домішки зовнішнього газу на осі струменю (величини i_m та c_m підлягають визначенням). При цьому співвідношення (11) і (13) зберігаються і для основної ділянки.

Порядок розрахунку неізотермічних реактивних паро-водо-повітряних струменів.

Вихідні дані для розрахунку неізотермічних реактивних паро-водо-повітряних струменів:

u_0 – швидкість вихідного струменю;

ρ_0 – щільність вихідного струменю;

T_0 – температура вихідного струменю;

ρ_H – щільність навколишнього середовища;

T_H – температура навколишнього середовища;

$\theta = \frac{T_0}{T_H}$ - температурний фактор (параметр нагріву струменю);

u_m – швидкість на вісі струменю у поточному перетині x ;

$u_m = u_m / u_0$;

T_m – температура на вісі струменю у поточному перетині x ;

$\Delta T_m = (T_m - T_H) / (T_0 - T_H)$.

Для плоского струменю:

b_0 – напівширина вихідного перетину струменю;

$y_1(x)$ – напівширина потенційного ядра;

$y_2(x)$ – напівширина зовнішньої границі струменю;

$b = y_2 - y_1$ - напівширина пограничного шару струменю (у межах початкової ділянки);

$b = y_2$ – напівширина струменю (в межах перехідної та основної ділянок струменю).

Відношення лінійних розмірів до b_0 позначається як:

$\bar{x} = \frac{x}{b_0}$, $\bar{b} = \frac{b}{b_0}$, $\bar{y}_1 = \frac{y_1}{b_0}$ і т.д.

Для вісесиметричного струменю:

r_0 – радіус вихідного перетину струменю;

$y_I(x)$ та $y_L(x) \equiv r_c$ – радіус потенційного ядра та радіус зовнішньої межі струменю відповідно;

$b = y_2 - y_I$ – товщина кільцевої зони пограничного шару струменю (на початковій ділянці).

$b = y_2 \equiv r_c$ – радіус струменю (на перехідній та основній ділянках).

Для вісесиметричного струменю всі лінійні розміри відносяться до початкового радіусу струменю r_0 :

$$\bar{x} = \frac{x}{r_0}, \quad \bar{y}_1 = \frac{y_1}{r_0} \text{ і т. д.}$$

$$M_2(\theta) = \int_0^1 \frac{f^2(\eta) d\eta}{1 + (\theta - 1)\eta}; \quad M_3(\theta) = \int_0^1 \frac{f^2(\eta)\eta d\eta}{1 + (\theta - 1)\eta}, \quad (17)$$

де:

$$f(\eta) = 2\eta^{3/2} - \eta^3 = \frac{u}{u_0} \quad \text{- універсальний профіль Шліхтингу} \quad (18)$$

У випадку, якщо початкові межі у вихідному перетині рівномірні, то $n_{uI} = n_{u2} = n_T = n_c = 1$. Якщо дані про початкові поля відсутні, то їх слід вважати рівномірними.

Порядок розрахунку плоского струменю

а) Початкова ділянка струменю:

Константа розширення пограничного шару: $c_H = 0,27$.

Поточна напівширина потенційного ядра:

$$\bar{y}_1(\bar{x}) = 1 - \frac{1}{2} c_H (1 + \theta) \theta M_2(\theta) \bar{x}. \quad (19)$$

Поточна напівширина межі струменю:

$$\bar{b}(\bar{x}) = c_H (1 + \theta) \bar{x}. \quad (20)$$

Довжина початкової ділянки:

$$\bar{y}_2(\bar{x}) = \bar{y}_1(\bar{x}) + \bar{b}(\bar{x}). \quad (21)$$

Напівширина струменю у кінці початкової ділянки:

$$\bar{x}_H = \frac{2}{c_H (1 + \theta) \theta M_2(\theta)}. \quad (22)$$

Для плоскої задачі межа потенційного ядра і межа струменю на початковій ділянці прямолінійні.

Профіль швидкостей:

- у межах потенційного ядра $0 < y < y_I$:

$$u = u_0 \quad (23)$$

- у межах пограничного шару $y_I < y < y_2$:

$$\frac{u}{u_0} = f(\eta); \quad \eta = (y_2 - y) / (y_2 - y_I). \quad (24)$$

Профіль температури та щільності:

- у межах потенційного ядра:

$$T - T_0, \quad \rho = \rho_0; \quad (25)$$

- в межах пограничного шару:

$$\frac{T - T_H}{T_0 - T_H} = \eta, \quad \frac{\rho}{\rho_0} = \frac{T_0}{T}. \quad (26)$$

б) Перехідна ділянка струменю:

Для перехідної ділянки визначаються наближено лише його геометричні параметри: відстань до перехідного перетину x_{II} та напівширина струменю b_{II} на перехідній ділянці:

$$\bar{b}_n = \frac{n_{2u} [1 + 0.86(\theta - 1)K_T]}{0.316\theta}, \quad (27)$$

$$\bar{x}_n = \frac{2\bar{b}_n}{c_H(\theta + 1)}, \quad (28)$$

де

$$K_T = 0.86 \frac{n_T}{n_{2u}}. \quad (29)$$

в) Основна ділянка струменю:

Константа розширення основної ділянки: $c_0 = 0.22$.

Визначається залежність безрозмірної швидкості \bar{u}_m від відстані \bar{x} згідно співвідношення:

$$c_0(\bar{x} - \bar{x}_n) = \frac{n_{2u} K_T^2 (\theta - 1)^2}{1.264\theta} \left(\frac{P(z)}{z^2} - \frac{P(z_0)}{z_0^2} \right), \quad (30)$$

де

$$P(z) = 1 - 0.28z + 0.27z^2 \ln \left| \frac{1+z}{z} \right|, \quad (31)$$

$$z = \frac{\theta - 1}{2} K_T \bar{u}_m, \quad z_0 = \frac{\theta - 1}{2} K_T.$$

Задаючись рядом значень \bar{u}_m (в порядку убутання величини \bar{u}_m від $\bar{u}_m = 1$ і теоретично до $\bar{u}_m = 0$), знаходимо значення $\bar{x} - \bar{x}_{II}$, яке відповідає вказаному значенню \bar{u}_m .

Напівширина струменю (у перетині \bar{x} , котрому відповідає задане значення \bar{u}_m):

$$\bar{b} = \frac{n_{2u} [1 + 0.86(\theta - 1)K_T \bar{u}_m]}{0.316\theta \bar{u}_m^2}. \quad (32)$$

Вимірювання температури вздовж вісі струменю:

$$\Delta \bar{T}_m = K_T \bar{u}_m, \quad \Delta \bar{T}_H = \frac{T_m - T_H}{T_0 - T_H}. \quad (33)$$

Профіль швидкості в поперечному перетині:

$$\frac{u}{u_m} = (1 - \eta^{3/2})^2, \quad \eta = \frac{y}{b}. \quad (34)$$

Профіль температур:

$$\frac{T_0 - T}{T_m - T_H} = \left(\frac{u}{u_m} \right)^{Pr_r}. \quad (35)$$

Для плоского струменю за результатами багаточисельних дослідів турбулентне число Прандтля $Pr_r = 0,5$.

Формула (30) в граничному випадку ($\theta \rightarrow 1$) переходить у вираз:

$$c_0(\bar{x} - \bar{x}_n) = \frac{n_{2u}}{0,316} \left(\frac{1}{\bar{u}_m^2} - 1 \right), \quad (36)$$

справедливе для ізотермічного затопленого струменю.

Порядок розрахунку вісесиметричного струменю

а) Початкова ділянка струменю:

Товщина кільцевої області пограничного шару:

$$\bar{b} = \bar{y}_2 - \bar{y}_1 = \frac{c_H(1 + \theta)}{2} \bar{x}. \quad (37)$$

Поточний радіус потенційного ядра:

$$\bar{y}_1(\bar{x}) = -\theta M_2(\theta) \bar{b} + \sqrt{1 + \bar{b}^2 (\theta^2 M_2^2 - 2\theta(M_2 - M_3))}. \quad (38)$$

Поточний радіус межі струменю:

$$\bar{y}_2(\bar{x}) = \bar{y}_1 + \bar{b}. \quad (39)$$

Радіус струменю у кінці початкової ділянки:

$$\bar{b}_H = \frac{1}{\sqrt{2\theta(M_2 - M_3)}}. \quad (40)$$

Довжина початкової ділянки:

$$\bar{x}_H = \frac{2\bar{b}_H}{c_H(1 + \theta)}. \quad (41)$$

Формули для визначення профілю швидкості та температури у пограничному шарі для вісесиметричного струменю такі самі, як і для плоского.

б) Перехідна ділянка струменю:

Радіус струменю у кінці перехідної ділянки:

$$\bar{y}_{2n} = \bar{r}_n = \sqrt{\frac{n_{2u}(1 + 0,745(\theta - 1)K_T)}{0,134\theta}}. \quad (42)$$

Відстань до перехідного перетину:

$$\bar{x}_n = \frac{2\bar{r}_n}{c_H(1 + \theta)}. \quad (43)$$

Для вісесиметричного струменю:

$$K_T = K_{T0} = 0,745 \frac{n_T}{n_{2u}}. \quad (44)$$

в) Основна ділянка струменю:

Залежність відносної швидкості на вісі \bar{u}_m та \bar{x} знаходиться із співвідношення:

$$c_0(\bar{x} - \bar{x}_n) = \sqrt{\frac{n_{2u} K_T^2 (\theta - 1)^2}{0,536\theta} \left(\frac{R(z)}{z} - \frac{R(z_0)}{z_0} \right)}, \quad (45)$$

де:

$$R(z) = \sqrt{1+1,49z} - \frac{0,51}{0,7} z \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{1+1,49z}}{0,7} - z \ln \frac{\sqrt{1+1,49z} + 1}{\sqrt{1+1,49z} - 1}, \quad (46)$$

$$z = \frac{\theta - 1}{2} K_T \bar{u}_m, \quad z_0 = \frac{\theta - 1}{2} K_T,$$

і K_T визначається формулою (44).

Згідно (45) безпосередньо розраховується залежність $\bar{x} - \bar{x}_{II}$ від \bar{u}_m .

Поточний радіус струменю:

$$\bar{y}_2 = \bar{r}_c = \sqrt{\frac{n_{2u} (1 + 0,745(\theta - 1) K_T \bar{u}_m)}{0,134 \bar{u}_m^2 \theta}}. \quad (47)$$

Визначення температури вздовж вісі струменю:

$$\frac{T_m - T_H}{T_0 - T_H} = K_{T0} \bar{u}_m. \quad (48)$$

Профіль швидкості визначається формулою:

$$\frac{u}{u_m} = (1 - \eta^{3/2})^2, \quad \eta = \frac{y}{r_c}. \quad (49)$$

Профіль температур формулою виду:

$$\frac{T_0 - T}{T_m - T_H} = \left(\frac{u}{u_m} \right)^{\operatorname{Pr}_y}, \quad (50)$$

однак для вісесиметричного струменю $\operatorname{Pr}_T \cong 0,75$.

Визначення далекобійності струменя.

Наведені вище результати відносяться до поширення струменя без урахування впливу сили тяжіння. У цьому випадку теоретично швидкість \bar{u}_m прагне до нуля тільки при $\bar{x} \rightarrow \infty$, тобто струмінь формально поширюється до нескінченності, і в якості його далекобійності розглядається та відстань, при якій швидкість u_m (або безрозмірна швидкість \bar{u}_m) падають нижче деякого заданого малого значення, після якого вплив струменя вже практично не відчувається.

Однак при врахуванні сили тяжіння (якщо проекція сили тяжіння на вісь струменя перешкоджає руху) швидкість $\overline{u_m}$ обертається в нуль на кінцевій відстані від вихідного перетину. Розрахунок струменя з урахуванням сили тяжіння (особливо струменя похилої) можливий тільки на основі чисельного моделювання рівнянь гідродинаміки турбулентного руху, оскільки метод інтегральних співвідношень через втрату профілями швидкості і температури автотемпературності в чистому вигляді не застосовується.

Для наближеного розрахунку струменя в умовах дії сили тяжіння пропонується наступна процедура:

а) справжня швидкість на осі струменя в даному місці з урахуванням сили тяжіння u_{mg} виражається через швидкість u_m на підставі закону збереження енергії:

$$\frac{u_{mg}^2}{2} = \frac{u_m^2}{2} - gz, \quad (51)$$

де z - висота тієї точки на осі струменя, в якій обчислюється швидкість, по відношенню до точки на осі вихідного перетину;

б) для визначення зігнутої осі струменя використовується система рівнянь:

$$\frac{dx}{dt} = v_{xm}, \quad \frac{dz}{dt} = v_{zm}, \quad (52)$$

де $v_{xm} = u_{mg} \cos \theta$, $v_{zm} = u_{mg} \sin \theta$

та θ - кут нахилу траєкторії до осі x (горизонту);

в) в кожній точці криволінійної осі струменя поперечний переріз можна вважати ортогональним до осі і автотемпературний закон застосовувати не до швидкості u_m , а до швидкості u_{mg} .

Якщо зміною кута θ уздовж осі струменя можна знехтувати (тобто якщо вважати, що вісь струменя прямолінійна і спрямована під кутом θ), отримаємо:

$$\frac{u_{mg}^2(x)}{2} = \frac{u_m^2(x)}{2} - g \sin \theta \cdot x, \quad (53)$$

де x - відстань уздовж осі струменя. Далекобійність струменя, тобто значення x , при якому $u_{mg} = 0$, згідно (53) визначається з рівності:

$$u_m^2 = 2g \sin \theta \cdot x$$

або, переходячи до безрозмірних величин, з умови:

$$\overline{u_m}^2(\overline{x_*}) = \frac{2g \sin \theta r_0}{u_0^2} \overline{x_*}, \quad (54)$$

то значення $\overline{x_*}$, при якому виконується умова (53) означає далекобійність струменя.

Так, наприклад, для двигуна ВК-1А, що створює реактивний асиметричний струмень з температурним фактором $\theta=2$, $u_0=500$ м/с, $r=0,2$ м, $\theta=30^\circ$, отримаємо $\overline{x_*} = 203$ и $x_* = r_0 \overline{x_*} = 406$ м.

Відмітимо, що запропонована тут оцінка занижена, тобто йде "в запас".

Висновки. У роботі запропоновано методику розрахунку неізотермічних паро-водо-повітряних струменів, що створюються турбореактивними авіаційними двигунами типу ВК-1А, які запропоновано використовувати для гідрознеплення та активного подавлення пилогазової хмари при вибухових роботах у кар'єрах. Методика дозволяє розрахувати параметри струменів на початковій, перехідній та основній ділянках; розрахувати зміну температури вздовж вісі струменю, профіль швидкості та температури струменю; розрахувати далекобійність струменю в умовах дії сили тяжіння.

Перелік посилань

1. Зберовский А.В. Охрана атмосферы в экосистеме «карьер-окружающая среда-человек».- Дн-вск: РИО АП ДКТ, 1997. – 136 с.
2. Пат. № 112259, Україна, МПК (2006.01) E21V 5/02 "Установка для захисту довкілля при вибухових роботах у кар'єрах". О.В. Зберовський (UA), О.М. Савотченко (UA). – № u 201605804; Заявл. 30.05.2016; Опубл. 12.12.2016, Бюл. № 23. – 8 с.

ABSTRACT

Purpose. Create a methodology for calculating non-isothermal reactive steam-water-air jets to protect the environment from dust and gas emissions in quarries.

The methods. The methods of calculation of jet jets are used in the work, namely methods for calculating the velocity profile of supersonic jets and the temperature profile of nonisothermal jets; methods for calculating the range of a jet with allowance for gravity.

Findings. The method of calculation of non-isothermal reactive steam-water-air jets is proposed, which is created by turbojet aircraft engines of the VK-1A type, which are proposed to be used for hydro-dusting and active suppression of a dust-gas cloud during blasting operations in quarries. The method allows to calculate the parameters of the jet at the initial, transitional and main sections; calculate the temperature change along the axis of the jet, the profile of velocity and temperature of the jet; calculate the range of the jet in conditions of gravity.

The originality. The suggested technique allows to quickly determine the necessary parameters of steam-water-air jets for fast and effective environmental protection from dust and gas emissions in quarries taking into account environmental conditions.

Practical implications. The use of the proposed methodology allows to solve the following tasks for environmental protection from dust and gas emissions in quarries using steam-water-air jet jets: providing coverage with a jet of the required area; Achieve the required jet height; To achieve the necessary range, taking into account the location of the installation for dust suppression, a working platform and a wind rose; Maintenance of the given parameters of the jet in the quarry (the profile of the distribution of velocities and the liquid phase by the intersection of the jet, the composition and dispersity of the water fraction, etc.).

Keywords: *Dust and gas cloud, mass explosion, quarry, reactive vapor-water-air jets*