

1. Kachan, U.G., Kovalenko, V.L., Vizer A.A. (2013). About possibility of increasing the energy efficiency of heating furnaces by forming heat fluxes using spatial electric fields / Metallurgy : ZDIA scientific papers . - Zaporozhye: RVV ZDIA , 2013 . - V. 29, 121-125 p.p.
2. Kachan, U.G., Kovalenko, V.L., Vizer A.A. (2013). About possibility to control heat fluxes using spatial electric fields / Metallurgical heating engineering : collection of scientific labours of the National metallurgical academy of Ukraine. - Dnepropetrovsk : New ideology, 2013. - V.13.
3. Kachan, U.G., Kovalenko, V.L., Vizer A.A. (2014). Modeling of the temperature condition of the gas heating furnace in spatial electric field. / ENERHETYKA: ekonomika, tekhnolohiyi, ekolohiya. – Kyiv: NTU “KPI”, 2014. - V. 2, 28-32 p.p.
4. Turichin A.M. (1961). Electrical measurements.- Moscow .: State Energy Publishing, 338p.

УДК 621.783.2:621.311.16

Ю.Г. Качан, д-р техн. наук, професор

В.Л Коваленко, канд. техн. наук, доцент; **А.А Визер**

Запорожская государственная инженерная академия

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЗОВОЙ НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ПРИ УСЛОВИИ СОЗДАНИЯ В ЕЕ КАМЕРЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Выполнен анализ энергоэффективности газовой нагревательной печи, в которой пространственным электрическим полем осуществляется управление тепловыми потоками. Результаты проведенных исследований обосновывают целесообразные с экономической точки зрения значения приложенных напряжений.

Ключевые слова: анализ энергоэффективности, пространственное электрическое поле, тепловой поток, интенсификация теплообмена, нагревательная установка, экономически целесообразное напряжение.

Надійшла 10.11.2014

Received 10.11.2014

УДК 622.235

В.Г. Кравець, д-р. техн. наук, професор, **Л.В. Шайдецька**

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ КАМУФЛЕТНОЇ ПОРОЖНИНИ ВИБУХОМ В СВЕРДЛОВИНІ В ПРИСУТНОСТІ ТАМПОНАЖНОГО МАТЕРІАЛУ

Вирішено задачу про механізм дії циліндричного заряду вибухової речовини в свердловині, заповненій тампонажним розчином. Розглянуто закономірності поширення вибухової хвилі в оточуючому середовищі та розвитку камуфлетної порожнини в часі. Теоретично описано явище пульсації тиску на межі газової порожнини. Визначено максимальний тиск на межі «продукти детонації – середовище». Встановлено залежність між максимальним радіусом вибухової порожнини і радіусом зарядної свердловини з розчином.

Ключові слова: тампонажний матеріал, порожнина, вибух, тиск, деформація.

Вступ. Для розвитку геотехнічного будівництва в складних гідрогеологічних умовах важливі не лише якість, надійність та економічність, але і швидкість споруджування об'єктів, що є одним із впливових факторів при виборі способу та технології будівництва. Влаштування геотехнічних споруд в цивільному, транспортному та спеціальному будівництві супроводжується великими об'ємами земляних робіт, створюючи потреби в значній кількості спеціальної техніки, скорочення яких можливе шляхом застосування енергії вибуху. Застосування енергії вибуху особливо ефективно при влаштуванні вертикальних захисних споруд мілкового закладання в обводнених ґрунтах нестійкими структурними

зв'язками шляхом попереднього створення вибухом системи порожнин та одночасного їх заповнення будівельним розчином [1]. Для гарантованого формування порожнин в складних ґрунтових умовах необхідно уявляти механізм їх розвитку і володіти способами керування процесами, що відбуваються в нестійкому масиві в часі формування порожнини енергією вибуху вертикального подовженого заряду.

Метою роботи є вивчення закономірностей утворення подовженої вибухової порожнини в присутності концентрично розташованих шарів структурно нестійкого ґрунтового масиву з використанням направлено діючої системи зарядів, оточених кольматуючим розчином.

На рис. 1 зображено технологічне рішення, яке полягає в підриванні заряду в свердловині, заповненій тампонажним матеріалом, внаслідок чого формується вертикальна порожнина при наявності на поверхні ємності з важким заповнювачем.

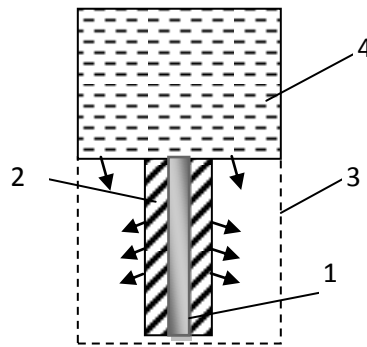


Рис.1 Схема розрахунку: 1- заряд, 2- кольматуючий розчин, 3 – вибухова порожнина, 4 – ємність з заповнювачем

Рух продуктів детонації (ПД), тампонажного матеріалу (ТМ) і ґрунту описується законами збереження імпульсу, маси і внутрішньої енергії, які для випадку осової симетрії мають вигляд [2]

$$\rho \left(\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial r} \right) = \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r}, U = \frac{\partial r}{\partial t} \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial (r \rho U)}{\partial r} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial E}{\partial t} + P \frac{\partial V}{\partial t} - V(S_r \dot{\epsilon}_r + S_\theta \dot{\epsilon}_\theta + S_z \dot{\epsilon}_z) = 0 \quad (3)$$

$$\sigma_i = S_i - P, (i = r, \theta, z) \quad (4)$$

де ρ – поточна щільність; U – швидкість; t – час; P – середній гідростатичний тиск; r, θ, z – циліндричні координати; σ_i, S_i – компоненти тензора і девіатора напружень; $V = V/V_0, V, V_0$ - відносний поточний і початковий питомі об'єми.

Крапки над величинами в (3) позначають операцію диференціювання. Для продуктів детонації $S_i = 0$. Для компонентів тензора швидкостей деформацій виконуються співвідношення

$$\dot{\epsilon}_r = \frac{\partial U}{\partial r}, \dot{\epsilon}_\theta = \frac{U}{r}, \dot{\epsilon}_z = 0 \quad (5)$$

Розширення продуктів детонації відбувається по двочленній ізентропі, рівняння якої запропоновано в [3]:

$$P = A\rho^N + B\rho^{\gamma+1} \quad (6)$$

З рівняння (6) при $P \rightarrow P_n$ слідує рівняння

$$P = P_n \left(\frac{\rho}{\rho_n} \right)^{k_n} \quad (7)$$

де k_n – показник ізентропи на фронті детонації хвилі.

При $P \rightarrow P_0$ (P_0 – атмосферний тиск) з (6) слідує рівняння

$$P = P_0 \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^{k_0} \quad (8)$$

де k_0, ρ_0 - показник ізентропи і щільність при $P = P_0, P_n, \rho_n$ - значення тиску і щільності в точці спряження кривих (7) та (8).

Внутрішня енергія продуктів детонації на фронті детонації хвилі E складається з суми теплоти вибухового перетворення Q і енергії ударного переходу.

$$E = Q + \frac{P_n + P_0}{2} \left(\frac{1}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_n} \right) \quad (9)$$

Константи A, B, N, γ в рівнянні (6) визначаються з наступних умов. Криві лінії (6) та (7) мають спільну точку (P_n, ρ_n) і дотичну в цій точці. Лінії (6) та (8) мають загальну дотичну при $P \rightarrow P_0$. Продукти

детонації при розширенні від P_n до P_0 здійснюють роботу, рівну енергії вибухового перетворення. Ці умови разом з рівнянням (6) дають систему рівнянь для визначення вищезазначених констант.

$$k_n = \frac{N + B\rho_n^{\gamma+1}(\gamma + 1 - N)}{\rho_n}, \gamma = k_0 - 1,$$

$$Q = \frac{(\rho_n - \rho_0)(V_0 - V_n)}{2} = \frac{P_n - P_0}{\rho_0(N - 1)} + \frac{B\rho_n^\gamma(N - 1 - \gamma)}{\gamma(N - 1)} \quad (10)$$

Оскільки на фронті детонації хвилі виконуються умови

$$P_n = \frac{\rho_0 D_n^2}{k_n + 1}, \rho_n = \frac{\rho_0}{k_n} (k_n + 1) \quad (11)$$

де D_n - швидкість детонації, тоді константи A, B, N, γ в рівнянні (6) однозначно визначаються з рівнянь (10) – (11) при відомих детонаційних характеристиках вибухових речовин (D_n, k_n, k_0, Q, ρ_0).

Грунт і тампонажний матеріал моделюється твердим пористим багатокомпонентним середовищем, рівняння стиснення і розвантаження якого має вигляд [3]

$$\varepsilon = \phi(P, \varepsilon) \dot{P} - \frac{\alpha_1 \lambda(P, \varepsilon)}{\eta} \psi(P, \varepsilon) \quad (12)$$

В моделі прийнято, що рівняння розвантаження твердого та рідкого компонентів матеріалу збігаються з рівняннями їх навантаження.

Розвантаження прилеглого до порожнини масиву відбувається згідно з рівнянням

$$\varepsilon + 1 = \left[\frac{\gamma_{SR}(P - P_0)}{\rho_0 c_{SR}^2} + 1 \right]^{-1/\gamma_{SR}} + \left[\frac{\gamma_S(P_m - P_0)}{\rho_0 c_S^2} + 1 \right]^{-1/\gamma_S} - \left[\frac{\gamma_{SR}(P_m - P_0)}{\rho_0 c_{SR}^2} + 1 \right]^{-1/\gamma_{SR}} \quad (13)$$

де c_{SR} - швидкість звуку при розвантаженні середовища; γ_{SR} - показник ступеня в рівняннях об'ємного стиснення при розвантаженні середовища; P_m - тиск при досягненні об'ємною деформацією максимального значення ε_{1m} в порожнистому просторі.

Розвантаження середовища настає при досягненні деформацією ε_1 значення ε_{1m} , тобто при виконанні умови

$$\varepsilon_{1m} = \frac{1}{\alpha_1} (\varepsilon - \sum_{i=2}^3 \alpha_i \varepsilon_i) = \frac{1}{\alpha_1} \left[\frac{\dot{V}}{V_0} - \sum_{i=2}^3 B_i (A_i (P - P_0) + 1)^{-1/\gamma_i} \dot{P} \right] = 0 \quad (14)$$

З умови (14) при $\varepsilon_1 = \varepsilon_{1m}$ можна визначити P_m

$$P_m = P_0 + [(1 + \varepsilon_{1m})^{-\gamma_S} - 1] \quad (15)$$

Рівняння об'ємного розвантаження середовища має вигляд (12). Умовою пластичності ґрунту є модифікована умова Мізеса-Боткіна, запропонована для опису пластичності ґрунтів С.С. Григоряном:

$$S_r = - \left(y_0 + \frac{k_t \cdot P}{1 + \frac{k_t P}{\tau - y_0}} \right)$$

$$S_\theta = -\frac{1}{2} S_r, \quad S_z = \frac{2(1 + k_t)}{1 + 2k_t} P \quad (16)$$

де y_0 - зчеплення ґрунту; k_t - коефіцієнт тертя; τ - граничне значення зсувної міцності.

Початковими умовами задачі є наступні:

$$U = 0, P = P_n, \rho = \rho_n \text{ при } 0 \leq r \leq r_0,$$

$$U = 0, P = 0, \rho = \rho_1 \text{ при } r_0 < r \leq r_n, U = 0, P = \sigma_r = 0, \text{ при } r > r_n,$$

де r_n – координата радіуса порожнини.

Граничними умовами задачі є

1) «непротікання», тобто на осі заряду швидкість $U = 0$;

2) нерозривності напруження σ_r і швидкості U на рухомих контактах «ПД - ТМ» та «ТМ – ґрунт».

Метод розрахунку хвильових процесів. Для апроксимації системи диференціальних рівнянь (1)...(16) застосовувався метод кінцевих різниць з використанням кінцево-різницевої схеми типу «хрест» [4] другого порядку точності за просторовою та часовою координатами. В рішенні застосовано рухливу сітку, що автоматично розширюється з поширенням ударної хвилі. Як додатковий член до середнього гідростатичного тиску в різниці рівняння руху вводилась лінійно-квадратична штучна в'язкість, яка дозволяє вести наскрізні розрахунки як на гладких, так і на розривних течіях. Відповідно складено алгоритм розрахунку хвильових процесів в продуктах детонації і в ґрунті, який використано в подальших рішеннях.

Для розрахунку розглядався вибух заряду амоніту №6ЖВ в суглинистому ґрунті з певним складом компонентів (рідкого, твердого і повітря).

Фізико-механічні характеристики амоніту № 6ЖВ наступні:

$P_n = 3.54 \cdot 10^9$ Па, $\rho_n = 1000$ кг/м³, $n_0 = 2.71$, $\gamma = 1.25$, $A = 2.238$ Па(кг/м³)^{-n₀}, $B = 3.685 \cdot 10^5$ Па(кг/м³)^{-γ}.

При постійному радіусі заряду $r_0 = 0,02$ м варіювався радіус свердловини з тампонажним матеріалом в наступних межах $r_n = 0,05; 0,075; 0,1; 0,2$ м.

Константи для суглинистого ґрунту наступні:

$\rho_{20} = 1000$ кг/м³; $\rho_{30} = 2650$ кг/м³; $c_{20} = 1500$ м/с; $c_{30} = 4500$ м/с - щільності і швидкості звуку при $P = P_0$ в рідкому і твердому компоненті відповідно; $\gamma_2 = 7$, $\gamma_3 = 4$ - показники ступеня в рівняннях типу Тета для рідкого і твердого компонентів; $\rho_0 = 1890$ кг/м³ - початкова щільність, $\rho_0 c_s^2 = 3 \cdot 10^7$ Па; $\rho_0 c_D^2 = 3.67 \cdot 10^9$ Па; $\rho_0 c_{SR}^2 = 3.8 \cdot 10^9$ Па - статичний і динамічний модулі та модуль розвантаження середовища; $\gamma_s = 4$, $\gamma_D = 7$, $\gamma_{SR} = 8$ - показники ступеня в рівняннях статичного і динамічного стиснення і розвантаження; $\alpha_1 = 0.05$; $\alpha_2 = 0.15$; $\alpha_3 = 0.8$, коефіцієнт вязкості $\eta = 2000$ Па·с; пористість $N = 20\%$.

Константи для тампонажного матеріалу наступні: $\alpha_1 = \alpha_2 = 0$, $\alpha_3 = 1$;

$\rho_0 = \rho_{30} = 1077$ кг/м³; $c_{30} = 1600$ м/с - щільності і швидкості звуку при $P = P_0$; $\gamma_3 = 4$; $\rho_0 c_s^2 = 1.27 \cdot 10^7$ Па; $\rho_0 c_D^2 = 1.17 \cdot 10^9$ Па; $\rho_0 c_{SR}^2 = 0.8 \cdot 10^9$ Па - статичний і динамічний модулі та модуль розвантаження середовища; $\gamma_s = 4$, $\gamma_D = 7$, $\gamma_{SR} = 8$ - показники ступеня в рівняннях статичного і динамічного стиснення і розвантаження; коефіцієнт вязкості $\eta = 12$ Па·с; пористість $N = 0\%$.

Час розвитку порожнини для розглянутих варіантів діаметра вибухової свердловини склав 15, 17, 20 і 26 мс відповідно.

На рис.2 зображено залежності середнього гідростатичного тиску на межі з продуктами детонації від часу при підірванні циліндричного заряду в присутності тампонажного розчину в зарядній свердловині різного діаметра. Для кожної кривої спостерігається наявність повторних максимумів тиску. Перший максимум відповідає приходу ударної хвилі в дану точку масиву. Другий максимум пов'язаний з тим, що хвиля, відбиваючись від більш щільного ґрунтового середовища, створює пік тиску. Далі ця хвиля відбивається на осі симетрії заряду і, переходячи в ґрунтовий масив, викликає третій максимум тиску.

На рис.3. представлено діаграми стиснення середовища для різних радіусів тампонажної свердловини.

З аналізу характеру графіків рис.2 і 3 видно, що при постійній величині заряду, тобто постійній потенціальній енергії вибуху із збільшенням радіуса тампонажної свердловини до 0,2м, незважаючи на зменшення максимального тиску, помітно зростає величина максимальної і залишкової об'ємної деформації середовища. Це означає, що на процес деформування прилеглого шаруватого масиву впливає не лише силовий фактор, тобто загальна енергія вибуху заряду та максимальне напруження у вибуховому імпульсі. Значний вплив на процес справляє фактор часовий, тобто механізм передачі енергії імпульсу середовищу, який в значній мірі визначається часом його взаємодії з середовищем, а у конкретному випадку – часом існування пульсаційних явищ, оскільки завдяки повторним сплескам в епорах напружень подовжується час дії вибухового імпульсу.

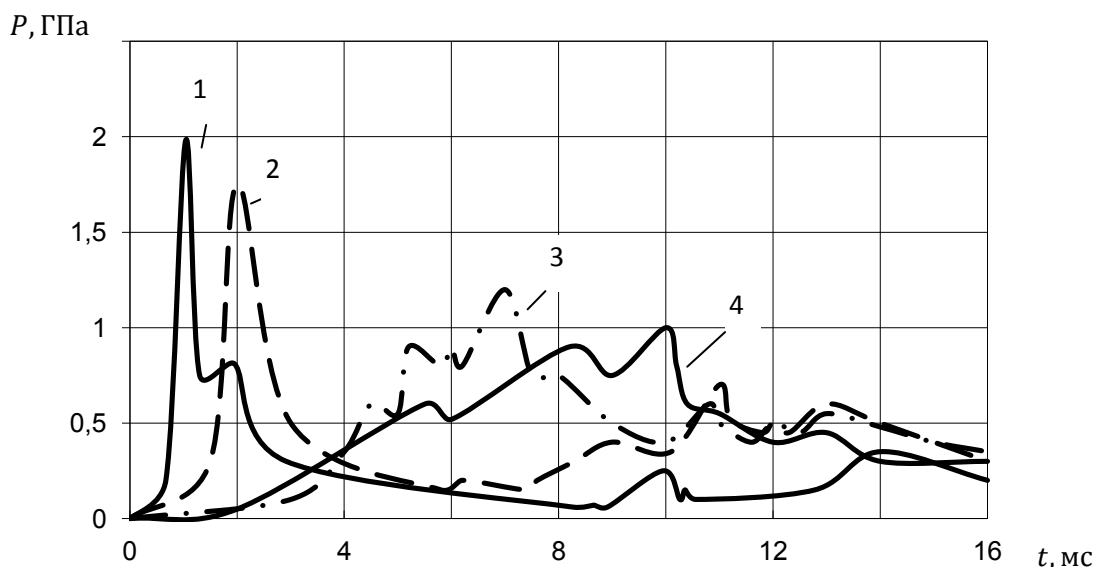


Рис. 2. Залежність тиску від часу в суглинку на межі з продуктами детонації при підірванні циліндричного заряду: 1, 2, 3, 4 - радіус тампонажної свердловини відповідно 0,05; 0,075, 0,1 і 0,2м.

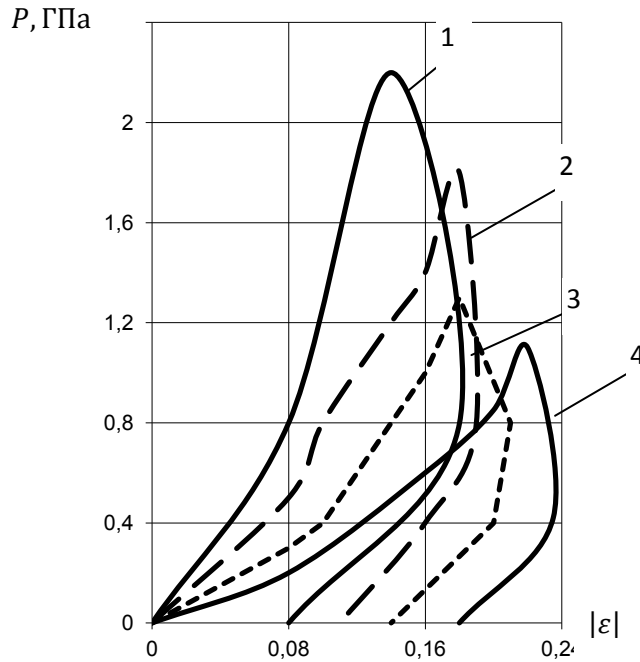


Рис.3. Діаграми стиснення середовища на межі з порожниною: 1, 2, 3, 4 – радіуси свердловини відповідно 0,05; 0,075 і 0,1, 0,2 м

Це явище забезпечує в межах значень $r_c = 0,05 \dots 0,2$ м зростання максимального радіуса порожнини, а отже, і часу її розширення та наступного схлопування. Однак подальше збільшення радіуса тампонажної свердловини створює умови, коли вплив межі поділу середовищ «розчин-грунт» на вибухові процеси через значну відстань стає непомітним (рис.4), оскільки процеси відбиття хвиль в шаруватому середовищі ослаблюються і практично не взаємодіють.

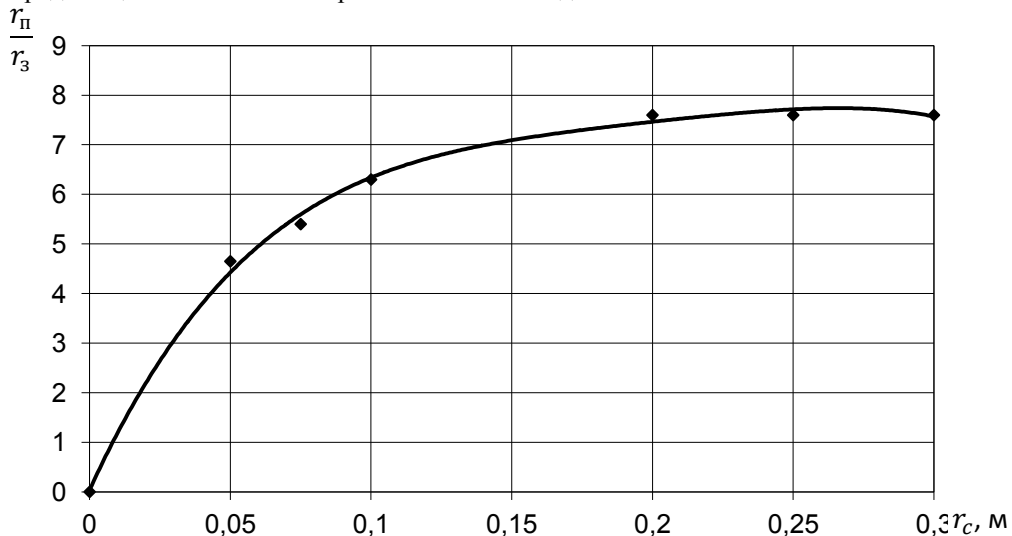


Рис.4. Залежність між максимальним радіусом вибухової порожнини і радіусом зарядної свердловини з розчином

З виконаного розв'язку задачі про розвиток вибухової порожнини за присутності в зарядній свердловині тампонажного розчину для розглянутих варіантів рішень і різних діаметрів тампонажної свердловини та відповідно різного об'єму тампонажного розчину і постійної величини заряду можна визначити залежність між максимальним радіусом вибухової порожнини і радіусом зарядної свердловини з розчином (рис.4). Виконане теоретичне дослідження підтвердило спостережені в експериментах [1] явища циклічного розширення - схлопування вибухової порожнини в часі її розвитку, що є основою для подальших розробок комбінованої технології влаштування вертикальних захисних

геотехнічних споруд з використанням явищ пульсації газової порожнини для одночасного з вибухом розміщення в ній матеріалу заповнювача під дією гравітації та пульсаційних рухів у порожнині.

Висновки

- теоретично описано явище пульсації тиску на межі газової порожнини, пов'язане з відбиттям хвиль від межі поділу середовищ і на осі циліндричного заряду;
- з аналізу даних розрахунку випливає, що зі збільшенням діаметра тампонажної свердловини зростає відносний радіус вибухової порожнини, а саме, збільшення радіуса свердловини вдвічі веде до зростання радіуса порожнини на 29%; максимальний радіус вибухової порожнини досягається при відносному радіусі тампонажної свердловини, що дорівнює 10 радіусів заряду
- максимальний тиск на межі «ПД – середовище» досягається при радіусі зарядної свердловини, рівному 0,05 м, мінімальний – при радіусі 0,2 м, але перший і наступні імпульси тиску при вибуху в свердловині діаметром 0,2 м мають значно більшу протяжність в часі, що сприяє більш повній передачі енергії вибуху подовженого заряду в середовище і тягне за собою збільшення часу розвитку і відповідно розмірів газової порожнини.

Список літератури

1. Кравець В.Г. Використання пульсаційних рухів вибухової порожнини для спорудження протифільтраційної завіси/ В.Г. Кравець, К.Н. Ткачук, В.В. Вапнічна, А.В. Францішко, М.М. Олісевич/ Вісник НТУУ «КПІ», сер. «Гірництво»: Зб.наук.праць. – 2008. –Вип.17 – с.85-91.
2. Вовк А.А. Цилиндрические взрывные волны в грунтах /А.А. Вовк, И.А. Лучко, Г.М. Ляхов// Прикл. Механика и техн. Физика. – 1986. - №4. – с. 100-105.
3. Лучко И.А. Цилиндрические взрывные волны в твердой многокомпонентной вязкопластической среде/ И.А. Лучко, В.А. Плакий, Н.С. Ремез// Взрывное дело. -1986. - №88/45. – с. 28-35.
4. Математичне моделювання дії вибуху в грунтах і гірських породах/І.А. Лучко, Н.С. Ремез, А.І. Лучко. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 264 с.

V. Kravets, L. Shaydetska

National Technical University of Ukraine «Kiev Polytechnic Institute»

ENERGY EFFICIENCY OF CAMUFLET CAVITY FORMATION BY EXPLOSION IN THE HOLE WITH PRESENCE OF PLUGGING MATERIAL

The problem is decided about the mechanism of action of cylindrical charge of explosive in a blasting hole, that filled by plugging material. The laws of explosive wave distribution in an environment and development of explosive cavity in time are considered. In theory the phenomenon of pressure pulsation is described on the border of gas cavity. Maximal pressure is certain on a border of detonation products and soil mass. Dependens is set between the maximal radius of explosive cavity and radius of blasthole filled in by grouting.

Key words: grouting material, cavity, explosion, pression, deformation.

1. V.G. Kravets Use explosive cavity pulsation movements to build antifiltration curtains / V.G. Kravets, K. N Tkachuk, V.V. Vapnitsna, A.V. Francishko, M.M Olisevych / Bulletin NTU "KPI", ser. "Mining": Coll. of Scient. Papers - 2008. -Vyp.17 - s.85-91.
2. Vovk A.A. Cylindrical shock waves in soils /A.A. Vovk, I.A Lutshko, G.M. Liyahov // Appl. Mechanics and Techn. Physics. - 1986. - №4. - s. 100-105.
3. Lutshko I.A. Cylindrical shock waves in multicomponent solid viscoplastic medium / I.A. Lutshko, V.A. Plaksiy, N.S. Remez // Explosive affair. -1986. - №88 / 45. - C. 28-35.
4. Mathematical modelyuvanniai action explosion in soils and rocks / I.A . Lutshko , N.S Remez, A.I Lutshko . - К .: NTU "KPI", 2011. - 264 s.

УДК 622.235

В.Г. Кравец, д-р. техн. наук, профессор, **Л.В. Шайдецька**

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ КАМУФЛЕТНОЙ ПОЛОСТИ ВЗРЫВОМ В СКВАЖИНЕ В ПРИСУТСТВИИ ТАМПОНАЖНОГО МАТЕРИАЛА

Решена задача о механизме действия цилиндрического заряда взрывчатого вещества в скважине, заполненной тампонажным материалом. Рассмотрены закономерности распространение взрывной

волны в окружающей среде и развитие камуфлетной полости во времени. Теоретически описано явление пульсации давления на границе газовой полости. Определено максимальное давление на границе «продукты детонации – среда». Установлено зависимость между максимальным радиусом взрывной полости и радиусом зарядной скважины с раствором.

Ключевые слова: тампонажный материал, полость, взрыв, давление, деформация.

Надійшла 12.12.2014

Received 12.12.2014

УДК 57.083.13

А.Н. Ободович, д-р .техн. наук, глав. науч. сотр.

С.И. Костик, В.В. Сидоренко

Институт технической теплофизики НАН Украины

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ МАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ЗА СЧЁТ ДИСКРЕТНО – ИМПУЛЬСНОГО ВВОДА ЭНЕРГИИ ПРИ КУЛЬТИВИРОВАНИИ МИКРООРГАНИЗМОВ

Рассмотрена возможность применения роторно-пульсационного аппарата, реализующего метод дискретно-импульсного ввода энергии в качестве аэратора (сатуратора) в технологии культивирования микроорганизмов. Освещена область применения метода в данной технологии, представлено описание установки, а также принцип её действия, описаны основные физические явления, возникающие в рабочей зоне аппарата.

Ключевые слова: дискретно-импульсный ввод энергии, роторно-пульсационный аппарат, культивирование, дрожжи

Вступление

Массообмен и аэрация питательной среды – важнейшие условия для размножения микроорганизмов, потребляющих кислород. К факультативным анаэробным организмам относятся дрожжи расы *Saccharomyces cerevisiae* [1], используемые в хлебопекарной, спиртовой, пивоваренной и комбикормовой промышленности для сбраживания углеводов.

Аэрация питательной среды имеет целью обеспечить дрожжи кислородом, равномерно распределить их в объеме питательной среды и удалить выделяющийся в ходе метаболизма дрожжей углекислый газ, угнетающий жизнедеятельность дрожжевых клеток. Аэробным организмам, в частности дрожжам, выращиваемым в глубине питательной жидкости необходим растворенный кислород в качестве акцептора водорода в реакциях окисления ассимилируемых дрожжами углеродных соединений. Результатом является энергия, используемая в процессах метаболизма клетки.

Для обеспечения необходимой концентрации растворенного кислорода в культуральной среде необходимо обеспечить постоянное растворение строго определенного количества кислорода воздуха, подаваемого на аэрацию. Как недостаток, так и избыток кислорода является нежелательным фактором культивирования [2].

В частности, полагают, что при накоплении биомассы дрожжей 50 г/л средняя скорость поглощения кислорода дрожжами находится в пределах 1,5 – 2,0 кг/м³·ч. Если принять увеличение производительности аппаратуры с накоплением до 90 – 100 г/л, то, в среднем, потребность в кислороде возрастает до 3 – 4 кг/м³·ч [3].

В процессе аэрации содержащийся в пузырьках воздуха кислород диффундирует к поверхности раздела фаз газ – жидкость, проходит через эту поверхность, диффундирует от поверхности раздела фаз в жидкость и к клеточной стенке микроорганизма. На этом пути молекулы кислорода преодолевают диффузионные сопротивления, значительно отличающиеся по величине. Из теории абсорбции известно, что для труднорастворимых газов, к которым относится кислород, диффузионным сопротивлением в газовой среде можно пренебречь по сравнению с диффузионным сопротивлением в жидкости. Пренебречь можно также диффузионным сопротивлением транспорта кислорода в жидкости к клеточной стенке.