

РОЗРАХУНОК УСТАНОВКИ АВТОМАТИЧНОГО ПОЖЕЖОГАСІННЯ СКЛАДІВ БОЄПРИПАСІВ У ТРЬОХ РЕЖИМАХ ВИТІКАННЯ РІДИНИ З РЕЗЕРВУАРА ПІД ДІЄЮ ГАЗУ І СИЛИ ТЯЖІННЯ

Отримано систему рівнянь, що описує витікання рідини з резервуара автоматичної установки пожежогасіння під дією газу, який розширюється, і сили тяжіння. Показано, що поряд з режимом витікання рідини «Постріл» і «Постріл з Підпором» можливий також режим витікання «Постріл із Продовженням».

Постановка проблеми та аналіз літератури

Проблема пожежної безпеки зберігання боєприпасів на складах та арсеналах досить актуальна для України. Про це свідчать події у Новобогданівці та Артемівську [1, 2].

Спроби вирішення цієї проблеми обговорювалися неодноразово у класичній літературі [3 – 8], але всі запропоновані способи були обмежені первинними умовами.

У попередніх роботах автора [9 – 13] був розглянутий принципово новий метод пожежогасіння арсеналів та складів вибухових речовин із застосуванням нової автоматичної установки пожежогасіння, яка працює у режимі швидкого викиду рідини з балона. У даній статті наведемо розрахунок роботи такої установки.

Мета статті – отримання гідравлічного розрахунку автоматичної установки пожежогасіння нового типу, тобто установки пожежогасіння під дією газу, що розширюється, та сили.

Основний матеріал

Розглянемо витікання газу з резервуара по циліндричній трубі з радіусом a і довжиною L , один кінець якої вмонтований у нижню частину резервуара, а інший виведений в атмосферу. У початковий момент часу $t = 0$ у верхній частині резервуара перебував газ, який займав об'єм $V_{г.п}$ і мав тиск $P_п$, а нижня частина резервуара була заповнена рідиною, що займала об'єм $V_{р.п}$.

Якщо $P_п$ більше атмосферного тиску $P_а$, то при $t > 0$ рідина під дією перепаду тисків почне витікати з резервуара по трубі в атмосферу. Як показано в [9 – 13], система рівнянь, що описує таке витікання

рідини, істотно спрощується, якщо час витікання рідини з резервуара $t_в$ є відносно малим, так що сила, обумовлена в'язкістю рідини, не встигає встановити рівновагу в поперечному круговому перерізі труби. У цьому випадку протягом часу $t_в$ рідина рухається уздовж осі труби як ідеальна зі швидкістю $v(t)$.

Згідно з [9, 10] систему рівнянь щодо швидкості $v(t)$ і тиску в резервуарі $P(t)$ можна записати у вигляді:

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{1}{\rho L} \{P(t) - P_а - \rho g H(t)\}; \quad (1)$$

$$P(t) = \frac{P_п V_{г.п}}{V_{г.п} + W(t)}, \quad (2)$$

де
$$W(t) = \pi a^2 \int_0^t v(t') dt' - \quad (3)$$

об'єм рідини, що витече з резервуара до моменту часу t (витрата рідини до моменту t);

ρ – щільність рідини.

У рівнянні (1), на відміну від [9, 10], ми врахували також гідростатичний тиск, що обумовлено прискоренням вільного падіння g і різницею висот H між положенням рівня рідини в резервуарі та положенням кінця труби, виведеного в атмосферу.

При фіксованому положенні кінця труби й резервуара величина H змінюється згодом, оскільки в міру витікання рідини її рівень у резервуарі знижується на величину ΔH . У підсумку

$$H(t) = H_0 + \Delta H, \quad (4)$$

де H_0 – висота, на якій перебуває кінець труби, ви-

ведений в атмосферу, щодо рівня рідини в резервуарі в момент часу $t = 0$.

Виходячи з вибору знака гідростатичного тиску (третій доданок у правій частині (1)), H_0 є позитивною величиною, якщо кінець труби вище рівня рідини в резервуарі, і H_0 варто вважати негативною величиною, якщо кінець труби, виведений в атмосферу, нижче рівня рідини в резервуарі.

Зниження рівня рідини в резервуарі $\Delta H(t)$ визначається витратою рідини (3) і площею перетину S резервуара в площині, що перпендикулярна вертикальній осі. Якщо обсяг рідини $V_{r,п}$ нижньої частини резервуара має однакову площу перетину S у всіх точках вертикальної осі, то

$$H(t) = H_0 + \frac{1}{S} W(t). \quad (5)$$

Система рівнянь (1), (2), (5) з початковою умовою $v(t = 0) = 0$ є коректно поставленим математичним завданням для знаходження трьох функцій $v(t)$, $P(t)$ і $H(t)$.

Виходячи із системи рівнянь (1), (2), (5), можна описати три різних режими витікання рідини з резервуара під дією газу, що розширюється, і сили тяжіння:

1. Перший режим реалізується, якщо початковий тиск газу $P_{п}$ і займаний ним об'єм $V_{г,п}$ настільки великі (відповідні нерівності див. у [9, 10]), що протягом усього часу витікання t_b рідини з резервуара права частина рівняння (1) залишається позитивною. У цьому випадку протягом усього проміжку часу $0 \leq t \leq t_b$ рідина буде рухатися із прискоренням так, що швидкість руху рідини буде максимальною в момент t_b спустошення посудини. Цей так званий режим «Постріл» теоретично й експериментально був досліджений у [9 – 13].

2. Другий режим реалізується, якщо початковий тиск $P_{п}$ і займаний ним об'єм $V_{г,п}$ не настільки великі, щоб протягом усього часу t_b виконувався режим «Постріл» (відповідні нерівності наведені в [9, 10]). У цьому випадку, як показано в цих роботах, режим витікання буде складатися із двох етапів.

На першому етапі, поки права частина рівняння (1) позитивна, рідина буде прискорюватися до деякого моменту t_a . У момент часу t_a тиск газу $P(t_a)$, що розширюється в резервуарі, упаде до значення, при якому права частина рівняння (1) перетвориться

на нуль і прискорення рідини припиниться. Швидкість руху рідини в момент часу t_a буде максимальною і перший етап, що протікає в інтервалі часу $0 \leq t \leq t_a$, буде відповідати режиму «Постріл».

Подальше витікання рідини з резервуара призведе до того, що при $t > t_a$ тиск газу, що займає об'єм рідини, яка витікає, стане вже настільки низьким, що права частина рівняння (1) уже буде негативною величиною. У підсумку при $t > t_a$ швидкість руху рідини буде зменшуватися аж до її зупинки в момент часу t_0 .

Другий етап, що триває протягом часу $t_a \leq t \leq t_0$, у [5, 6] був названий етапом «Підпір». Відповідно, весь розглянутий режим витікання, що складається із двох етапів, був названий в [9, 10] режимом «Постріл з Підпором».

3. Можна запропонувати й третій режим витікання рідини з резервуара, виходячи з детального аналізу етапу «Підпір». При цьому доведеться внести зміни в конструкцію резервуара.

Важливою обставиною на етапі «Підпір» є те, що при витіканні з резервуара рідини газ у верхній частині резервуара розширюється настільки, що його тиск виявляється нижче атмосферного. Саме ця обставина призводить до зменшення швидкості витікання рідини по трубі з резервуара аж до її повної зупинки.

Режим «Постріл з Підпором» можна змінити, якщо вмонтувати у верхню частину резервуара клапан, що відкривається тоді, коли тиск газу в резервуарі виявляється менше атмосферного. У цьому випадку перший етап «Постріл» не змінюється, оскільки при цьому тиск газу в резервуарі вище атмосферного й клапан закритий. Зате на другому етапі, як тільки тиск у резервуарі виявляється менше атмосферного, клапан відкривається й тиск в резервуарі та атмосфері виявляються однаковими й рівними P_a .

У підсумку, на другому етапі, коли $P(t) = P_a$, у правій частині рівняння (1) залишиться тільки сила гідростатичного тиску, що, залежно від її знака, буде або продовжувати прискорений рух рідини, або зменшувати швидкість її руху. У кожному разі наявність клапана у верхній частині резервуара призводить до продовження тією чи іншою мірою етапу «Постріл». У зв'язку з цим розглянутий тут третій режим можна назвати «Постріл із Продовженням».

Висновки

Як висновок відзначимо, що кожний із трьох розглянутих вище режимів має свої достоїнства й недоліки. Режим «Постріл» кращий, коли об'єкт такий, що у випадку його загорання буде досить короткого гідравлічного удару. Недоліком режиму «Постріл» є необхідність щодо великого значення початкового добутку $P_{п}V_{г.п.}$, що повинно забезпечити кінцевий тиск у резервуарі вище атмосферного. Ця вимога може виявитися невідповідною для деяких ситуацій.

Режим «Постріл з Підпором» потрібний тоді, коли варто поєднувати короткий гідравлічний удар на початковому етапі загорання з більш тривалим пожежогасінням на завершальному етапі. Недоліком цього режиму є те, що в ряді випадків резервуар може не повністю спустошуватися.

У режимі «Постріл із Продовженням» можна забезпечити витрату рідини істотно більшою, ніж у режимах «Постріл» і «Постріл з Підпором». Ця обставина є важливою, коли об'єкт такий, що у випадку пожежі потрібно буде швидко ліквідувати велике вогнище загорання. У цьому випадку додаткові витрати на установку клапана у верхній частині резервуара і його обслуговування є виправданими.

Відповідно до рівнянь (1), (5) у режимі «Постріл із Продовженням» важливу роль грає гідростатичний тиск, що повністю визначає хід подій на етапі «Продовження». На відміну від цього в режимах «Постріл» і «Постріл з Підпором» гідростатичний тиск менш важливий, що дозволяло у всіх попередніх роботах [5, 6] його не враховувати.

Таким чином, у статті повністю наведено гідравлічний розрахунок автоматичної установки пожежогасіння нового типу, призначеної для складів вибухових речовин та боєприпасів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Указ Президента України «О решении Совета национальной безопасности и обороны Украины от 26 мая 2004 года «О состоянии хранения боеприпасов и взрывчатых веществ на арсеналах, базах и складах Вооруженных Сил Украины» [електр. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.president.gov.ua/rus/activity/ukazrozpor/decrees>.

2. Время действовать. Боеприпасы не ждут [електр. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.defense-ua.com/rus/hotnews>.

3. Качалов А.А. Противопожарное водоснабжение. – М.: Стройиздат, 1985. – 285 с.

4. Системи пожежної та охоронної сигналізації: Конспект лекцій / В.В. Христич, О.А. Дерев'янка та ін. – Х.: АПБУ МВС України, 2001. – 115 с.

5. Методические указания по проведению анализа риска опасных промышленных объектов. Шифр РД 08-120-96. Утверждены постановления Госгортехнадзора России от 12 июля 1996 года № 29, г. Москва. – 14 с.

6. Методика визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки. Затверджено наказом Міністерства праці та соціальної політики від 04.12.02 № 637, м. Київ. – 22 с.

7. Справочник спасателя. Кн. 12 «Высотные аварийно-спасательные работы на гражданских и промышленных объектах. – М.: Строительство, 2002. – 142 с.

8. Азаров С.Н., Дурнев Р.А. Методика определения рационального технического оснащения поисково-спасательных служб // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. – М.: ВНИИТИ. – 2000. – Вып. 1. – С. 79 – 85.

9. Адаменко М.І., Гелета О.В. Математична модель витікання рідини з резервуара у режимі „Постріл” // Науковий вісник будівництва. – 2005. – Вип. 30, т. 2. – С. 147 – 152.

10. Адаменко М.І., Гелета О.В., Федюк І.Б. Розробка методики пожежогасіння складів вибухових речовин за допомогою автоматичної установки пожежогасіння нового типу // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-тех. сб. – К.: Техника. – 2004. – Вып. 60. – С. 278 – 281.

11. Адаменко М.І., Федюк І.Б. Нова методика пожежогасіння складів вибухових речовин // Пожежна безпека. – Львів: ЛППБ. – 2004. – Вип. 5. – С. 45 – 47.

128. Адаменко М.І., Гелета О.В. Математична модель витікання рідини з резервуара в режимі „Постріл” // Науковий вісник будівництва. – Х.: ХДТУБА. – 2005. – Вип. 30, т. 2. – С. 147 – 152.

13. Адаменко Н.И. Паспортизация риска военно-строительных комплексов и военной техники // 36. науч. пр. ХВУ. – Х.: ХВУ. – 2002. – Вып. 4(34). – С. 149 – 150.

Надійшла 12.05.2005

Рецензент: д-р фіз.-мат. наук професор К.Е. Немченко, Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна.