

УДК 614.842.6

*С.А. Виноградов***ЧИННИКИ ВПЛИВУ ВОДЯНОГО СТРУМЕНЯ ВИСОКОЇ ШВИДКОСТІ НА ПРОЦЕС ПРИПИНЕННЯ ГОРІННЯ ГАЗОВОГО ФОНТАНА**

Проаналізовано закономірності горіння газових фонтанів та технології їх гасіння. Розглянуті чинники впливу водяного струменя високої швидкості на процес припинення горіння газового фонтана.

Ключові слова: газований фонтан, водяний струмінь високої швидкості, охолодження, зрив полум'я, інгібування.

*S. Vinogradov***FACTORS INFLUENCE OF WATER HIGH SPEED JETS ON THE PROCESS OF TERMINATION OF BURNING GAS BLOWOUTS**

Analyzed the patterns of burning gas blowouts and technologies for their extinguishing. The factors influence the water high speed jets the process of termination of burning gas blowouts.

Keywords: gas fountain, water high speed jet, cooling, flameout, inhibition

Боротьба з пожежами на газових родовищах вимагає залучення великої кількості матеріально-технічних ресурсів і може тривати місяцями. При цьому найчастіше мають місце втрати не тільки спеціальної техніки, а й людського життя. Навколишньому середовищу в зоні пожежі та прилеглих районах завдається значної шкоди.

У світовій практиці при гасінні пожеж в процесі ліквідації відкритих газових фонтанів найчастіше застосовуються лафетні стволи, автомобілі газоводяного гасіння АГВТ-100 і АГВТ-150, пневматичні порошкові полум'яподавлювачі ППП-200 та їх аналоги. Проте зазначені пристрої мають ряд недоліків: малу дальність ефективного гасіння пожежі, великі витрати вогнегасних речовин тощо.

Значний обсяг теоретичних та експериментальних досліджень, пов'язаних з розробками способів та засобів гасіння газових фонтанів було проведено такими вченими, як Daneberger E.P. [1], Holand P. [2], Hughes V.M.P. [3], Абдурагімов І.М. [4-6], Ігrevський В.І. [7], Калінін А.Г. [8], Куцин П.В. [9], Мамікопяц Г.М. [10], Плугін А.І [11, 12], Римчук Д.В. [13, 14], Чабаєв Л.У. [15] та іншими.

Незважаючи на наявну теоретичну базу і досягнуті практичні результати, питання підвищення ефективності гасіння газових фонтанів залишається актуальним.

Аналіз особливостей пожеж газових фонтанів свідчить, що такі пожежі характеризуються наявністю зони запалюючого кільця факелу, в якій горіння є нестійким. Порушення рівноваги в цій зоні може призвести до припинення горіння. Одним із шляхів підвищення ефективності гасіння газових фонтанів може бути подавання в зону його запалюючого кільця високошвидкісного струменя водної вогнегасної речовини.

Об'єктом дослідження були процеси горіння під час гасіння газових фонтанів такими водними струменями високої швидкості.

Предметом дослідження були чинники впливу на процеси припинення горіння під час гасіння газових фонтанів водними струменями високої швидкості.

Метою роботи було розкриття особливостей чинників впливу водного струменя рідини високої швидкості на процес припинення горіння газового фонтана.

Для досягнення поставленої мети розглянемо особливості горіння газового фонтану.

При горінні газу, що витікає в атмосферу повітря, кисень, дифундуючи через шари продуктів горіння, поступає до зони горіння, де вступає в хімічну реакцію окислення з паливом (рис. 1.).

Внаслідок дифузії окислювача з навколишнього середовища концентрація пального на деякій відстані від зрізу паливника X_B знизиться з 100% до верхньої концентраційної межі займання ϕ_B і з цього моменту стане можливим протікання реакції горіння (рис. 1, б). Внаслідок надлишку пального в цій області утворюються в основному продукти неповного окислення (СО, вуглець тощо). Утворення в цій області вуглецю обумовлює яскраво-жовте світіння дифузійного полум'я. По мірі витрачання пального та підвищення концентрації окислювача внаслідок дифузії останнього відбувається зниження концентрації пального. Як тільки на відстані X_H вона знизиться до нижньої концентраційної межі займання ϕ_H , хімічна реакція завершиться. По мірі зміни концентрації пального в зоні реакції ($X_B - X_H$) від верхнього до нижнього концентраційних меж займання, вона проходить через стехіометричну концентрацію $\phi_{ст}$, при якій швидкість хімічної реакції окислення є максимальною (рис. 1).

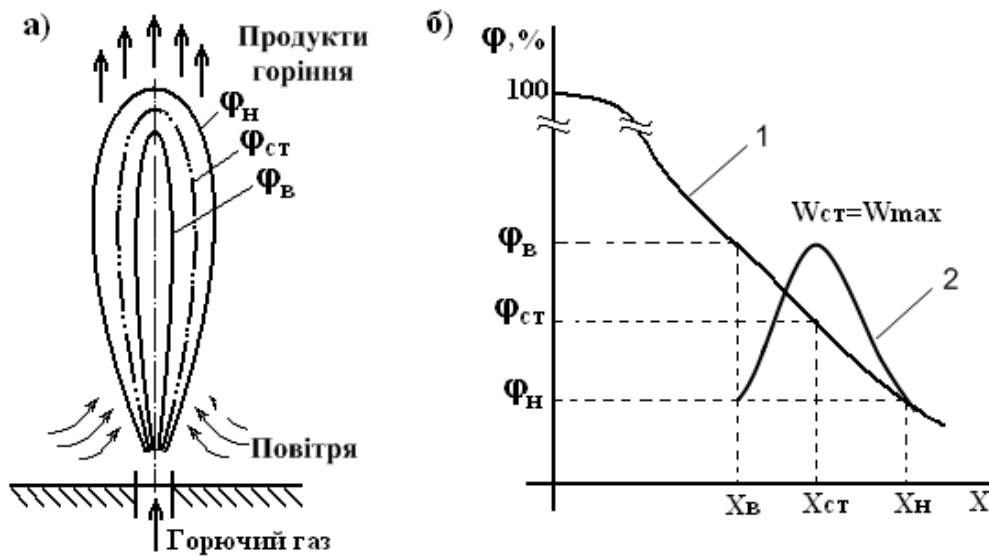


Рис. 1. Структура дифузійного ламінарного полум'я: а) схема горіння газового фонтану, б) зміна концентрації пального (1) і швидкості хімічної реакції (2) у фронті полум'я.

У реальних умовах витікання струменя газового фонтану є турбулентним. Під час витікання газу зі свердловини на початковій не палаючій ділянці поверхні струменя утворюється турбулентний шар змішування газу і повітря. У цьому шарі концентрація газу в радіальному напрямку плавно падає, а концентрація окислювача наростає. У середній частині товщини шару змішування виникає гомогенна суміш палива і окислювача зі складом, близьким до стехіометричного. При запаленні такої підготовленої до горіння суміші фронт полум'я може поширюватися в шарі змішування з кінцевою швидкістю навіть назустріч потоку, якщо швидкість горіння перевищує за величиною локальну швидкість потоку. Але оскільки по мірі наближення до свердловини швидкість струменя наростає, то на деякій висоті вона стає рівною швидкості горіння, і полум'я стабілізується на поверхні струменя.

Отже, горіння газового фонтану характеризується наявністю зони запалюючого кільця, в якій виникає горіння, що є нестійким. У цій зоні концентрація пального більше нижньої концентраційної межі займання, а швидкість руху потоку газу дорівнює лінійної швидкості поширення полум'я. Зміна рівноваги в цій зоні може призвести до припинення горіння.

Під час подачі струменя рідини високої швидкості на гасіння газового фонтану реалізуються механізми припинення гасіння охолодженням зони горіння.

Відомо, що, швидкість будь-якої хімічної реакції, в тому числі і горіння, залежить від температури. Ця залежність підпорядковується рівнянню Вант-Гоффа [16]:

$$V_2 = V_1 \cdot \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}}, \quad (1)$$

де V_2 – швидкість реакції за температури T_2 , V_1 – швидкість реакції за температури T_1 , $\gamma = (2 \div 4)$ – температурний коефіцієнт реакції.

При зниженні температури на 10°C швидкість реакції падає в $(2 \div 4)$ рази. Таке зниження істотно, особливо для ланцюгових реакцій (а саме до таких реакцій відноситься горіння). Ланцюгові реакції розвиваються лавиноподібно і так само лавиноподібно згасають. Тому різке охолодження зони горіння може привести до повного припинення горіння.

У випадку дифузійного горіння газових факелів, потухання факелу також можливо внаслідок збільшення швидкості витікання або внаслідок появи поперечного повітряного потоку певної швидкості [17, 18].

Залежно від швидкості витікання газу U_0 , розділяють два режими горіння факела: присопловий і відірваний. У присопловому факелі зона початку горіння починається безпосередньо біля зрізу пальника. У відірваному факелі зона початку горіння знаходиться на деякій відстані від зрізу пальника. Для оцінки швидкості, при якій режим горіння факела переходить з присоплового у відірваний можна використовувати емпіричну залежність [17]

$$U_0^{\text{отр}} = 10\sqrt[3]{d}, \quad (2)$$

де $U_0^{\text{отр}}$ – швидкість витікання газу, при якій відбувається відрив факела від устя, м/с; d – діаметр пальника, мм.

При подальшому збільшенні швидкості витікання при досягненні деякої критичної швидкості $U_0^{\text{сп}}$ відбувається повний зрив факела. Ця швидкість може бути визначена, виходячи із залежності

$$U_0^{\text{сп}} = 15\sqrt{0,2d^2 + 1}. \quad (3)$$

де $U_0^{\text{сп}}$ – швидкість витікання газу, при якій відбувається повний зрив і погасання факелу, м/с.

Відомо [17], що при наявності повітряного потоку, який рухається під тим чи іншим кутом до газового струменя, геометричні характеристики факелу сильно змінюються. За певного значення швидкості цього потоку, факел зривається і горіння припиняється.

Для пояснення сутності зриву факелу в поперечному потоці скористаємося схемою, зображеною на рис. 2.

Під впливом поперечної складової швидкості поперечного потоку $U_{\text{пот}}^T$, спрямованої перпендикулярно до осі потоку пального газу, відбувається додаткова турбулізація струменя і відповідне збільшення швидкості горіння газу. Поздовжня складова потоку $U_{\text{пот}}^P$, що спрямована уздовж осі струменя, надає дію, аналогічну співвісному потоку, тобто прискорення газового струменя і зниження її стійкості.

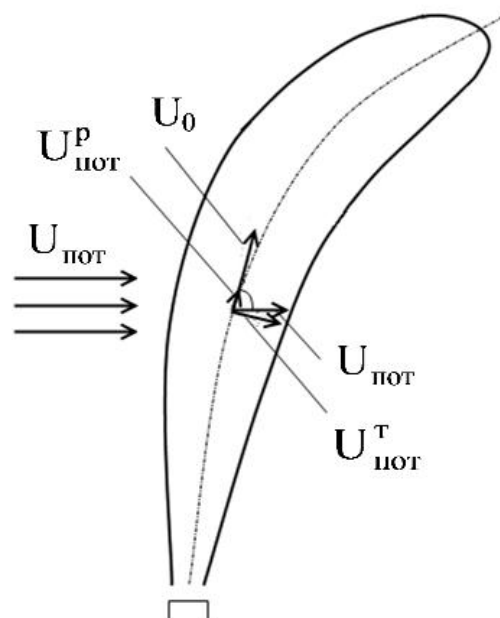


Рис. 2. Схема взаємодії факелу з поперечним потоком водної вогнегасної речовини

Виконаний аналіз літературних джерел [17, 18] дозволив побудувати номограму для визначення швидкості поперечного потоку, за яких відбувається гасіння газового фонтану залежно від його дебіту ω та діаметру свердловини d_{ϕ} (рис. 3).

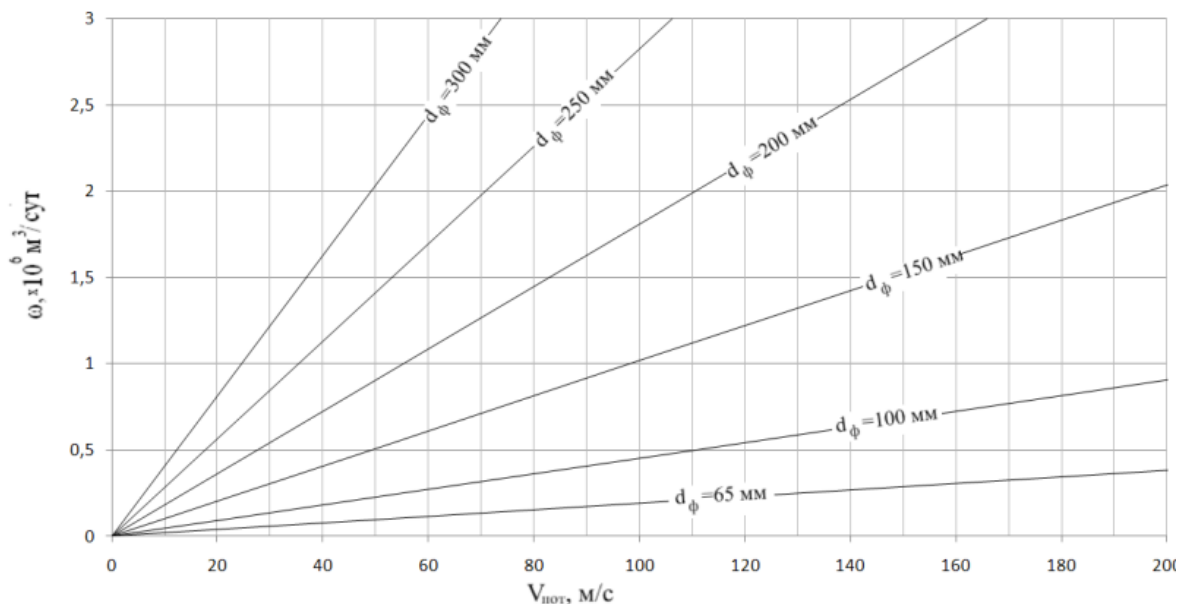


Рис. 3. Номограма для визначення швидкості поперечного потоку, за якого відбудеться гасіння газового фонтану

Останніми роками все більшого поширення в практиці пожежогасіння та протипожежного захисту об'єктів різного призначення набувають водні вогнегасні речовини, які залежно від свого хімічного складу в 2-10 разів перевищують вогнегасну ефективність води за рахунок інгібрувального фактору в процесі взаємодії полум'я з такими вогнегасними речовинами [19-26]. У зв'язку з викладеним є всі підстави вважати, що застосування таких водних вогнегасних речовин додатково збільшить ефективність гасіння газових фонтанів, порівняно з водою, у разі подавання у зону запалюючого кільця їх високошвидкісних струменів.

Для реалізації висунутої ідеї про підвищення ефективності гасіння газового фонтану у разі подавання у зону його запалюючого кільця високошвидкісного струменя водної вогнегасної речовини, із застосуванням методів імітаційного моделювання [27], було розроблено водну систему імпульсного пожежогасіння [28] та проведені експериментальні дослідження [29], які підтвердили високу ефективність припинення горіння газових фонтанів за рахунок подавання до зони запалюючого кільця газового фонтану високошвидкісного струменя водної вогнегасної речовини ($U_0=300-600$ м-с).

Висновки. Таким чином, підтверджено, що горіння газового фонтану характеризується наявністю зони запалюючого кільця, горіння в якій є нестійким. У разі подавання в зону запалюючого кільця газового фонтану водного струменя високої швидкості з визначеними параметрами, відбувається припинення горіння за рахунок одночасного прояву охолоджуючого фактору та механічного зриву полум'я енергією такого струменя. При використанні водних вогнегасних речовин з додаванням інгібірувальних домішок, додатково здійснюється інгібування зони горіння та підвищується ефективність гасіння.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Daneberger E.P. Outer Continental Shelf drilling blowouts 1971-1991 / Daneberger E.P. // Paper OTC 7248, Proceedings, 25 Annual Offshore Technology Conference. - Houston, May 3-6, 1993.- pp.415-425
2. Holand P. Offshore Blowouts. Causes and control / Holand P. - Gulf Publishing Company Houston, Texas, 1997.- 163 p.
3. Hughes V.M.P. A Computer-Assisted Analysis of Trends Among Gulf Coast Blowouts / Hughes V.M.P., Podio A. // In situ Journal.- 1990.- 14 (2).- pp. 201-228.
4. Абдурагимов И.М. Физико-химические основы развития и тушения пожаров / Абдурагимов И.М., Говоров В.Ю., Макаров В.Е.- М. ВИПТШ МВД СССР, 1980.-255 с.
5. Абдурагимов И.М. Для тушения газовых фонтанов / Абдурагимов И.М. // Пожарное дело. - 1985.- № 4.- С. 16-17.
6. Абдурагимов ИМ. Экспериментальные исследования параметров потухания и минимальных концентраций огнетушащих составов при тушении высокоскоростного диффузного факела / Абдурагимов ИМ., Макаров В.Е. // Горение и взрыв. Мат. Всесоюз. конф. - Черногловка. - 1980. - 301 с.
7. Игревский В. И. Предупреждение и ликвидация нефтяных и газовых фонтанов / В. И. Игревский, К. И. Мангушев.- М.: Недра, 1974.- 192 с.
8. Калинин А.Г. Технология бурения разведочных скважин на нефть и газ / Калинин А.Г., Левицкий А.З., Никитин Б.А.- М.: Недра, 1998.-440 с.
9. Куцын П.В. Тушение горящих газовых фонтанов большой мощности / Куцын П.В. // Безопасность труда в промышленности. - 1985.- № 4- С. 56-59.
10. Мамиконяиц Г.М. Тушение пожаров мощных газовых и нефтяных фонтанов / Мамиконяиц Г.М.- М.: Недра, 1971.-95 с.
11. Патент 2047737 РФ, МПК6 Е 21 В 35/00. Устройство для тушения горящих фонтанирующих скважин / Плугин А.И.; заявитель Научно-производственная компания "Фрейм"; патентообладатель Плугин Александр Илларионович. - № 5034805/03; заявл. 24.02.1992; опубл. 10.11.1995.
12. Патент 2160823 РФ, МПК7 Е 21 В 35/00. Способ тушения пожаров на нефтегазовых промыслах / Плугин А.И., Погорелов А.Ю., Попов Ю.В., Киреева Е.Ф; заявитель и патентообладатель Плугин Александр Илларионович. - 99102768/03; заявл. 11.02.1999; опубл. 20.12.2000.

13. Блохин О.А. Предупреждение возникновения и безопасная ликвидация открытых газовых фонтанов / Блохин О.А., Иогансен К.В., Рымчук Д.В.- М.: Недра, 1991.- 142 с.
14. Вайсберг Г.Л. Гасіння палаючих газових та нафтових фонтанів / Вайсберг Г.Л., Рымчук Д.В., Ленкевич Ю.Е. // Нафтова і газова промисловість. - 2004.- № 3.- С. 25-27.
15. Чабаев Л.У. Технологические и методологические основы предупреждения и ликвидации газовых фонтанов при эксплуатации и ремонте скважин: автореф. дис. на соискание степени д-ра техн. наук: спец. 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность (нефтегазовый комплекс)» / Л.У. Чабаев.- Уфа, 2009.-38 с.
16. Физическая и коллоидная химия под ред. А. П. Беляева.- М: «ГЭОТАР-Медиа», 2008.- 704с.
17. Михеев В.П. Газовое топливо и его сжигание / Михеев В.П.- Л.: Недра, Ленингр. отд-ние, 1966.-327 с.
18. Карпов В.Л. Пожаробезопасность регламентных и аварийных выбросов горючих газов. Часть 2. Предельные условия устойчивого горения и тушения диффузионных факелов в подвижной атмосфере / В.Л. Карпов // Пожаровзрывобезопасность.- 1998.- № 4.- С. 46-52.
19. Антонов А. В. Застосування технології тонкого розпилу водних вогнегасних речовин для протипожежного захисту об'єктів з масовим перебуванням людей / А. В. Антонов, А.І. Турчин, Є. Я. Светлов // Науковий вісник УкрНДІПБ.- 2001.- Вип. 4.- С. 65-66.
20. Результати натурних вогневих випробувань автоматичної установки пожежогасіння тонко розпиленою водною вогнегасною речовиною / А. В. Антонов, А. І. Турчин, О. Г. Слізької, В. С. Терпигор'єв // Науковий вісник УкрНДІПБ.- 2002.- Вип. 2(6).- С. 166-170.
21. Антонов А. В. Дослідження щодо розроблення водних і водопінних вогнегасних речовин з розширеним температурним діапазоном застосування / А. В. Антонов, В. О. Боровиков, А.І. Турчин // Науковий вісник УкрНДІПБ.- 2003.-Вип. 1(7).-С. 81-89.
22. Антонов А. В. Натурні вогневі випробування автоматичної установки пожежогасіння тонкорозпиленими водними вогнегасними речовинами на Курахівській ТЕС ТОВ «Східенерго» / А. В. Антонов, А. І. Турчин // Науковий вісник УкрНДІПБ.- 2007.- Вип. 1(15).- С. 98-102.
23. Турчин А. І. Теоретичні і практичні питання застосування технологій тонкого розпилювання водних вогнегасних речовин / А. І. Турчин, А. В. Антонов // Науковий вісник УкрНДІПБ.- 2008.-Вип. 1(17).-С. 138-145.
24. Дослідження з визначення показників якості деяких водних вогнегасних речовин / А.І. Турчин, В. О. Боровиков, А. В. Антонов, Н. М. Козяр // Науковий вісник УкрНДІПБ.- 2008.-Вип. 2(18).- С. 110-115.
25. Пат.52969 України. МПК А62/Д 1/02 (2006.01). Водна вогнегасна речовина для гасіння тонкорозпиленими струменями пожеж класів "А" та "В" за ГОСТом 27331-87 з використанням від -30 до + 50 °С/ Антонов А. В., Ковалишин В. В., Турчин А. І.; заявник Львів. держ. ун-т безпеки життєдіяльності МНС України. - № u200911293; заяв. 06.11.09; опубл. 27.09.10, Бюл. NQ 18.
26. Пат.50370 України. МПК А62/Д 1/02 (2006.01). Водна вогнегасна речовина для гасіння пожеж класів "А" та "В" на основі піноутворювача загального та спеціального призначення / Антонов А. В., Ковалишин В. В., Турчин А. І., Козяр Н. М.; заявник Львів. держ. ун-т безпеки життєдіяльності МНС України. - № u200911291; заяв. 06.11.09; опубл. 10.06.10, Бюл. №11.
27. Грицына И.Н. Имитационное моделирование изменения максимальной скорости истечения струи установки импульсного действия для тушения газовых фонтанов / Грицына И.Н., Виноградов С.А., Пономаренко Р.В. // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: НУГЗУ, 2012. – Вып. 31. – С. 48-54.

28. Пат. 66434 Україна, МПК (2011.01) А 62 С 27/00. Установка для гасіння пожеж / Ларін О.М., Семко О.М., Грицина І.М., Виноградов С.А.; заявник та патентовласник Національний університет цивільного захисту України. - № u 201103022, заяв. 15.03.2011; опубл. 10.01.2012, Бюл. №1.
29. Семко А.Н. Использование импульсных струй жидкости высокой скорости для тушения газовых факелов/ А.Н. Семко, С.А. Виноградов, И.Н. Грицына // Вісник ДонНУ, Сер. А: природничі науки. – Донецьк, 2011. – №1. – С. 160-167.

