

ФІЗИЧНІ ЕФЕКТИ В АТМОСФЕРІ, ЩО СУПРОВОДЖУВАЛИ НАЙПОТУЖНІШУ КАТАСТРОФУ НА МАГІСТРАЛЬНОМУ ГАЗОПРОВОДІ

*Л. Ф. Черногор, доктор фіз.-мат. наук, професор
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,
В. В. Тютюник, доктор техн. наук, професор
Національний університет цивільного захисту України,
Л. Л. Черногор, студент ННІ екології
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна*

У світі існує розгалужена мережа підземних (підводних) і наземних магістральних газопроводів. Їхня довжина обчислюється багатьма сотнями тисяч кілометрів. Лише в Україні їхня довжина більше 37.6 тис. км, а в Росії – 250 тис. км. Таким чином, газотранспортна система України друга за протяжністю в Європі. На газопроводах час від часу стаються аварії, які супроводжуються викидами великих об'ємів (~1–10 млн м³) газу, вибухами та крупномасштабними пожежами [1]. Специфіка експлуатації газопроводів заключається в тому, що з'являється ризик каскадного розвитку аварій.

У цілому аваріям на газопроводах приділяється значна увага. При цьому оцінюється їхня надійність, вивчаються механізми корозії, способи підвищення строку експлуатації, описуються способи ліквідації наслідків і т.п. Практично не приділяється увага питанням наслідків аварій на газопроводах. У той же час це питання має особливу актуальність, пов'язану зі старінням газопроводів, яким більше 50 років.

Прикладом найсильнішої аварії, а точніше катастрофи, був об'ємний вибух газу поблизу населеного пункту Аша (Башкірія, СРСР) 4 червня 1989 р. Незважаючи на унікальність події, до цих пір детально не досліджено фізичні ефекти й екологічні наслідки цієї катастрофи. Навіть енергія вибуху надійно не оцінена. За одними даними, вона складала близько 250–300 т ТНТ, за іншими – 12 кт ТНТ [2]. У роботі [3] оцінено масу палива, яке згоріло, в 2.2–3.6 кт. Необхідна переоцінка енерговиділення та дослідження фізичних процесів, які супроводжували катастрофу біля м. Аша 4 червня 1989 р.

Мета цієї роботи – описання основних фізичних процесів і їхніх наслідків, які супроводжували найбільшу катастрофу на магістральному газопроводі.

Продуктопровід Західний Сибір – Урал – Поволжжя діаметром 720 мм і довжиною 1852 км призначався для транспортування стисненого газу. Трубопровід у 14 місцях перетинався із залізною дорогою, в тому числі і з трансибірською магістраллю. На ділянці 273 км продуктопровід небезпечно зближувався з залізними дорогами. На відстані 900 м від газопроводу на ділянці залізної дороги Улу-Теляк–Аша 4 червня 1989 р. о 01:15 за місцевим часом пролунав потужний вибух. Відстань до станції Аша складала 11 км. Як виявилось, за 40 хв до вибуху з труби відбулося витікання стисненого газу. В трубі виникла тріщина довжиною 1.7 м і середньою шириною близько 10 см. Газ почав стікати в порожнину, де проходила Трансибірська магістраль. На 1710 км зустрілись два поїзди №211 та №212. У двох ешелонах, крім локомотивів, було 38 вагонів, у яких знаходилось 1284 пасажери, в тому числі й 383 дитини, а також 96 членів поїздних і локомотивних бригад. Ударна хвиля від вибуху скинула 11 вагонів, 7 із яких повністю згоріло, а 26 вигоріло зсередини. Загинули не менше 575 осіб, поранено 623 особи. Сила вибуху була такою, що в м. Аша (на відстані від епіцентру 12 км) ударною хвилею вибило шибки. Виведено з ладу ділянку залізної дороги довжиною 350 м, контактну мережу довжиною 3 км, лінію електропостачання довжиною 1.5 км, сигнальну лінію автоблокування довжиною 1.7 км, а також 30 опор контактної лінії. Довжина фронту полум'я досягала 1.5–2 км. Викликана вибухом пожежа охопила площу 2.5 км². Стовп полум'я було видно більш

ніж за 100 км. Температура досягала 1300°C. У результаті вибуху зруйновано дерева на відстані 4 км. Збитки від катастрофи склали близько 15 млн дол. США.

Авторами досліджено та промодельовано наступні фізичні ефекти та екологічні наслідки: масу газу, що витік; енергетику процесів; руйнування деревостою та віконного скла; об'ємний вибух газу; утворення та динаміку вогняної кулі, купола вогняної кулі; параметри купола та кулі; теплове випромінювання вогняної кулі; зони ризику (зони займання) та руйнування; акустичні ефекти вибуху та пожеж; акустичний ефект терміку; електричні та електромагнітні ефекти вибуху газу, стовпа пилу; сейсмічний ефект вибуху газу.

Основні результати досліджень наступні.

1) Вперше проведено комплексний аналіз фізичних процесів, що супроводжували найпотужнішу катастрофу на магістральному газопроводі. 2) Еквівалентну масу вибухової речовини, що створила ударну хвилю, оцінено в 3.6 кт ТНТ. При цьому вважалося, що об'ємний вибух газу був повітряним. На його частку припало близько 12% енергії газу, що прореагував, або 15 ТДж. 3) Внутрішня енергія вогняної кулі була близькою до 59% енергії газу, що прореагував, або 72 ТДж. 4) Сумарне енерговиділення склало 122 ТДж або 29 кт ТНТ, що приблизно в 2.4 рази перевищує енерговиділення бомби, яку було скинуто на Хіросіму. Маса газу, що прореагувала, склала близько 1.26 кт або близько 45% газу, що витік, маса якого складала близько 5.8 кт, а об'єм – 2.9 млн м³. 5) Вибух газу призвів до утворення вогняної кулі (терміку) температурою близько 1600 К, радіусом близько 378 м, об'ємом близько 230 млн м³, що спливала вгору зі швидкістю понад 100 м/с. Приблизно за 1 хв вона, збільшившись у розмірах, піднялася на висоту близько 10 км. Підйом супроводжувався «усмоктуванням» холодного повітря, ураганим вітром та додатковими руйнуваннями. 6) Теплове випромінювання вогняної кулі спричинило пожежі на площі 2.4–2.6 км². За даними спостережень, ця площа була близькою до 2.5 км². Потужність теплового випромінювання становила близько 670 ГВт, а його тривалість – близько 1.8 хв. 7) Радіуси зон повного, сильного, часткового та незначного руйнувань ударною хвилею становили близько 1.1, 2.0, 15 і 48.5 км відповідно. 8) Вибух, пожежа та підйом терміку супроводжувалися генерацією акустико-гравітаційних хвиль. Енергії хвиль від цих джерел становили 15 ТДж, 0.75 ТДж та 0.2–0.3 ГДж, а потужності – 7–25 ТВт, 0.2 ГВт і 1.35 МВт відповідно. 9) При вибуху близько 90% енергії було зосереджено в акустичних коливаннях з періодами ~1.5–15 с, максимум енергії припадав на період близько 4 с. У спектрі акустико-гравітаційних хвиль, згенерованих пожежами, переважали періоди близько 40 і 110 с, а також від 7 до 70 хв. Підйом терміку супроводжувався генерацією шумоподібного акустичного сигналу, максимум енергії було зосереджено поблизу періодів 60 с. 10) Вибух згенерував потужний біполярний імпульс квазістатичного електричного поля з напруженістю порядку сотень кіловольт/метр і тривалістю близько 17 хв. Утворення пилового стовпа при спливанні терміку супроводжувалося електризацією пилу та генерацією квазістатичного поля напруженістю в десятки–сотні кіловольт/метр. 11) Генерація та поширення акустико-гравітаційних хвиль супроводжувалися генерацією електромагнітного випромінювання на частоті хвиль. Найбільший ефект тривалістю до 0.1 с був викликаний ударною хвилею, причому амплітуда напруженості електричного поля становила сотні вольт/метр, а амплітуда індукції магнітного поля – одиниці мікротесла. За рахунок пожежі ці амплітуди не перевищували одиниць вольт/метр і одиниць нанотесла, тоді як за рахунок турбулентності в колонці терміку ці величини не перевищували 0.05 В/м і часток нанотесла. 12) Вибух газу призвів до незначного землетрусу: його амплітуда ледве перевищувала 3.

ЛІТЕРАТУРА

1. Черногор Л. Ф. Физика и экология катастроф: монография. Х.: ХНУ имени В. Н. Каразина, 2012. 555 с.
2. https://ru.wikipedia.org/wiki/Железнодорожная_катастрофа_под_Уфой
3. Гельфанд Б. Е., Махвиладзе Г. М., Новожилов В. Б., Таубкин И. С., Цыганов С. А. Об оценке характеристик аварийного взрыва приповерхностного паровоздушного облака. Доклады АН СССР. 1991. №5, Т. 321. С. 978–983.