

УДК 614.8

DOI: <https://doi.org/10.31731/2524.2636.2022.6.2.46-50>

Марія Куценко, кандидат економічних наук, доцент (ORCID: 0000-0001-6879-9187),
Георгій Єлагін, кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник
(ORCID: 0000-0003-2577-6430),

Олена Алексєєва, кандидат технічних наук, доцент (ORCID: 0000-0003-0119-4081),

Ігор Ножко, кандидат педагогічних наук (ORCID: 0000-0003-1554-0088),

Іван Несен (ORCID: 0000-0001-5847-4805),

Анатолій Алексєєв, кандидат хімічних наук, доцент (ORCID: 0000-0003-4114-5807),

Дмитро Копитін (ORCID: 0000-0001-5847-4805),

Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля

Національного університету цивільного захисту України,

Олександр Євсюков, доктор наук з державного управління, професор

(ORCID: 0000-0001-8586-9886),

Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

ЗНИЖЕННЯ КІЛЬКОСТІ ВИКИДІВ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН ТА ЕКОЛОГІЧНИХ ВТРАТ ВНАСЛІДОК ПОЖЕЖІ ГОРЮЧИХ РІДИН, РОЗЛИТИХ НА ПОВЕРХНІ ВОДОЙМИ, ПРИ ГАСІННІ ПОЖЕЖІ ПОВІТРЯНО-МЕХАНІЧНОЮ ПІНОЮ

Розливи нафти на поверхні водойми (моря, океану) приводять до значних екологічних забруднень, які виливаються у витрати на ліквідацію таких аварій і відповідні штрафи у грошовому обчисленні. Ще більшої шкоди завдає горіння таких розливів. Частково знизити кількість забруднень можна вчасно загасивши пожежу.

В статті, що пропонується, на моделі розливу і горіння 1 т нафти наведено порівняння екологічних втрат внаслідок повного вигорання нафти, що розлилася, і втрат внаслідок часткового припинення горіння повітряно-механічною піною. Підраховано, що при горінні 1 т нафти на поверхні водойми, екологічні втрати від пожежі в грошовому обчисленні орієнтовно складають 31,2 грн при повному вигоранні нафти; 28,11 грн – при тій умові, що до гасіння встигло згоріти 90 % нафти; 15,64 грн – при умові, що до гасіння встигло згоріти 50 % нафти і 6,46 грн – при умові, що до гасіння встигло згоріти 20 % нафти.

Ключові слова: нафта, горіння рідин, шкідливі речовини, екологічні втрати, повітряно-механічна піна.

Постановка проблеми. Сучасний світ великою мірою залежить від добування нафти та її переробки. Але і сама нафта і більшість продуктів її переробки відносяться до особливо небезпечних горючих рідин. На жаль, пожежі з розлитими горючими рідинами виникають і в місцях добування нафти, і в місцях її переробки, і при використанні продуктів її переробки, і, в особливо великих масштабах, при транспортуванні усіх цих вуглеводнів морськими і річковими шляхами. Транспортування водою - найбільш дешевий спосіб доставки вуглеводнів до місць їх переробки або споживання. І, чим більший тоннаж має танкер, тим дешевше обходиться доставка тонни вантажу. Тому сучасний танкер за один рейс везе тисячі тонн небезпечної рідини. Аварії таких танкерів, викликані природними причинами або терористичними актами, призводять до виливу горючої рідини на поверхню водойми. Такий вилив – шкідливий сам по собі, оскільки згубно діє на флору і фауну водойми, на птахів, що харчуються біля водойми, на рибний промисел та на узбережжя. Але додаткової шкоди навколишньому середовищу завдає пожежа, що при цьому виникає у більшості випадків. Подібна пожежа продукує велику кількість продуктів повного та неповного згорання. Знизити кількість викидів продуктів згорання можна, загасивши пожежу. І, чим раніше, тим меншими будуть викиди.

У попередньому повідомленні [1] з використанням в якості моделі горіння нафти найбільш поширеного складу було наведено оцінку кількості викидів шкідливих речовин та екологічних втрат внаслідок пожежі горючих рідин, розлитих на поверхні водойми.

В даній роботі з використанням тієї ж моделі наводиться оцінка можливого зниження екологічних втрат при умові гасіння цієї пожежі повітряно-механічною піною. Вчасне припинення пожежі дає змогу значно знизити кількість шкідливих викидів і, відповідно, штрафних санкцій за них. Але, необхідно враховувати, що повітряно-механічна піна – це забруднюючий фактор. До складу цього вогнегасячого засобу входять поверхнево-активні речовини, які згубно діють на флору та фауну водойми.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В практиці гасіння пожеж найбільше застосування знаходять охолоджувальні засоби, в першу чергу, вода та вода з домішками, які призначені для покращення тих чи інших її властивостей. Але, при всіх перевагах, застосування води має і недоліки. Головний з них – неможливість використання води для гасіння пожеж рідин, які мають питому густину, меншу, ніж вода. Вода практично миттєво занурюється під поверхню такої рідини і зона горіння, яка знаходиться над поверхнею горючої рідини, залишається без засобу припинення горіння. Більше того, вода здатна розтікатися по поверхні і розносити рідину, що горить, по цій поверхні, збільшуючи таким чином площу пожежі.

Гасіння газоподібними засобами, які знижують концентрацію горючих парів у зоні горіння до значення, нижчого, ніж нижня концентраційна межа поширення цього газу; і концентрацію повітря до значення, меншого, ніж кисневий індекс горіння даної речовини, - придатне лише в замкнених об'ємах, тобто в приміщеннях. На відкритих просторах створити необхідну концентрацію інертного газу неможливо. Те саме відноситься до припинення горіння галогенозаміщеними вуглеводнями. Газоподібні з них на відкритих просторах відразу відносяться вітром і конвективними потоками, а рідкі – відносяться відразу після випаровування. До того ж, галогенозаміщені похідні вуглеводнів отруйні, на людей і тварин вони діють як печінкова отрута. Вологою ж повітря гідролізуються, виділяючи токсичні гідроген галогеніди і продукти їх подальшого перетворення. Нарешті, в останні роки хладони визнаються відповідальними за зниження кількості озону у верхніх шарах атмосфери і за утворення там «озонових дірок» [2,3]. Тому Монреальським протоколом представників більшості розвинених держав рекомендовано заборонити виробництво і застосування на нашій планеті будь-яких галогеновуглеводнів. Під цю заборону підпадають і комбіновані вогнегасні речовини, які використовують хладони, наприклад, порошки типу СИ, тобто силікагель, просочений хладонами, і ін. [4,5].

На практиці для гасіння пожеж горючих рідин здебільшого використовуються ізоляційні засоби гасіння, в першу чергу, повітряно-механічні піни. Піна, в залежності від стійкості, залишається на поверхні дільниці, на яку її подали, досить довгий час. За цей час нові порції піни можна подати на сусідні дільниці, і так поступово «відвойовувати» в пожежі дільницю за дільницею. Основних недоліків тут чотири. По-перше, піну, зважаючи на її легкість, неможливо подати насосами на більш-менш значну відстань. По-друге, обладнання для гасіння піною - досить складне, громіздке і дороге. По-третє, сама піна теж дорога, а витрачається вона при гасінні пожеж сотнями літрів. Нарешті, піна містить піноутворювачі, у більшості випадків – синтетичні. Ці речовини шкідливі і для персоналу, який з ними працює, і для оточуючого середовища. Крім того, вони утворюють емульсію нафти у морській воді, що в подальшому, при відділенні від води незгорілих залишків вуглеводню, суттєво зменшує ефективність сепарації. Після гасіння піною пожеж горючих рідин, розлитих на поверхні водойми (моря, океану), до води потрапляють значні кількості піноутворювача, що змінює поверхневий натяг води і згубно діє на всі без винятку живі істоти. Тим не менше, піна по суті є єдиним засобом, який в теперішній час застосовується для гасіння пожеж рідин, розлитих на великих площах.

Мета дослідження. Мета даної роботи – орієнтовна оцінка можливого зниження екологічної шкоди (у грошовому обчисленні) і, відповідно, штрафних санкцій, за рахунок

гасіння пожежі нафти на поверхні водойми повітряно-механічною піною. В роботі модельовано ситуацію, коли на поверхні водойми шаром товщиною в 0,1 м розлилася і загорілася 1 т нафти найбільш поширеного складу [1]. Із застосуванням повітряно-механічної піни пожежу вдалося загасити після вигорання 20 %, 50 % та 90 % нафти, яка вилася. Тобто, у водне середовище потрапило 0,8; 0,5 та 0,1 т цієї нафти і підрахована кількість піноутворювача. З попереднього повідомлення [1] запозичене оцінку екологічної шкоди (у грошовому обчисленні) при повному при спалюванні 1 кг нафти, яку перераховано на випадок згорання відповідно 20, 50 та 90 % від 1 т цієї нафти. До цієї цифри додано шкоду від потрапляння у воду незгорілої нафти і шкоду від потрапляння підрахованої кількості піноутворювача. Нормативи збору, який справляється за скиди основних забруднюючих речовин у водні об'єкти, в тому числі у морські води, для нафтопродуктів і інших забруднень складають 0,206 грн/кг [6,7].

В роботі прийнято, що гасіння проводилося піною середньої кратності ($K=100$) зі ствола ГПС-600, який забезпечує витрату 120 л піни на 1 м² площі пожежі за 1 секунду. Модельовано ситуацію, коли 1 т нафти (1,1 м³) розлилася на поверхні водойми шаром з середньою товщиною 0,1 м, тобто на площі 11 м².

В якості піноутворювача розглядався «Сніжок», який, крім відносно безпечних бутанолу, карбаміду і 1 % натрій гідроксиду, містить 12-13 % амонієвої солі алкансульфо кислоти фракції C₁₂ – C₁₄. Загальна концентрація піноутворювача в пінах середньої кратності звичайно складає 2—6 %. Отже, до шкоди, спричиненої згоранням розливої нафти і шкоди від незгорілої нафти, що залишилася у воді, було додано шкоду, спричинену потраплянням у водне середовище $0,12 \times 0,05 \% = 0,06 \%$ амонієвої солі тридекансульфо кислоти від кількості витраченої піни.

Виклад основного матеріалу дослідження. Як показано раніше [1], повне згорання 1 т нафти прийнятого складу завдає екологічної шкоди, яку можна оцінити в 31,2 грн. Отже, згорання 0,2 т завдає шкоди в 6,24 грн, згорання 0,5 т - в 15,6 грн, а згорання 0,9 т - в 28,08 грн.

Незгоріла нафта, що залишилася після гасіння пожежі і потрапила у воду, завдає шкоду відповідно у $0,206 \times 0,2 = 0,05412$ грн; $0,206 \times 0,5 = 0,103$ грн та $0,206 \times 0,9 = 0,185$ грн.

Середній об'єм 1 т нафти дорівнює 1,1 м³. При товщині шару 0,1 м і площі в 11 м² шар кожні 0,01 м товщини містять 10 % розливої нафти. Середня швидкість вигорання нафти приймається рівною $6 \cdot 10^{-5}$ м/с [8]. Це означає, що 20 % всієї нафти згорить за $0,02 / 6 \cdot 10^{-5} = 330$ с, 50% – за 850 с, а 90% – за 1530 с. Прийнято, що для забезпечення потрібної стійкості піни над шаром нафти, що горить, потрібна її товщина в 0,2 м. Отже, загальна витрата піни повинна складати $11 \times 0,2 = 2,2$ м³. Цю кількість ствол ГПС-600 здатен подати всього за $2,2 \cdot 60 / 600 = 0,22$ с. Таким чином, кількість нафти, яка згоріла у цьому випадку, практично визначається тільки часом прибуття і розгортання пожежної техніки.

2,2 м³ піни містять 0,06 %, тобто $2,2 \cdot 0,06 / 100 = 0,13 \cdot 10^{-3}$ м³ амонієвої солі тридекансульфо кислоти, або орієнтовно 0,13 кг. В грошовому обчисленні забруднення водного басейну від такої кількості піни виливаються в $0,13 \times 0,206 = 0,034$ грн.

Підсумовуючи викладене, можна орієнтовно визначити, при повному вигоранні 1 т нафти найбільш поширеного складу екологічні наслідки можна оцінити в 31,2 грн.

За умови гасіння цієї пожежі піною «Сніжок» вигорання 90 % нафти нанесе екологічну шкоду в $28,08 + 0,054 + 0,034 = 28,11$ грн.

При тій же умові вигорання 50 % нафти нанесе екологічну шкоду в $15,60 + 0,103 + 0,034 = 15,64$ грн.

А вигорання 20 % – в $6,24 + 0,185 + 0,034 = 6,46$ грн.

Висновки. Як впливає з наведених розрахунків орієнтовної оцінки, вчасне гасіння пожежі нафти, розливої на поверхні водойми, дає можливість знизити екологічні втрати від горіння такої нафти. Якщо до гасіння встигло вигоріти 90 % нафти, екологічні витрати знижуються на $(31,2 - 28,11) \times 100 / 31,2 = 9,9$ %, якщо вигоріло 50 % нафти, екологічні витрати

знижуються на $(31,2-15,64) \times 100 / 31,2 = 49,9\%$, а при вигоранні 20% нафти – на $(31,2-6,46) \times 100 / 31,2 = 79,3\%$.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. М. А. Куценко, Г. І. Єлагін, А. Г. Алексєєв, О. С. Алексєєва, В. В. Наконечний. Оцінка кількості шкідливих речовин в продуктах згорання при пожежі розлитих горючих рідин. «Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація», том 4, №1 (2020), с. 39-47.
2. Nicolson P. C., Artman D. D. A technique for the evaluation of AFFF sealing characteristics // «Fire Technology», 1977, 13, №1, 13-20.
3. Klunik C. H. Has. AFFF agent come of age // Hydrocarbon Process, 1977, V56, N 9, p. 293-300 134/3-1).
4. А.с. 232761 СССР, Огнегасительное средство, публ. 07.05.1969.
5. Г. І. Єлагін, М. Г. Шкарабура, М. А. Кришталь, О. М. Тищенко. Основи теорії розвитку та припинення горіння. – Черкаси 2001 – С.447.
6. Про затвердження «Порядку встановлення нормативів збору за забруднення навколишнього природного середовища і стягнення цього збору». Постанова кабінету міністрів України від 1 березня 1999 р. N 303.
7. Шкарабура М. Г., Єлагін Г. І., Куценко М. А. Методика наближеного розрахунку екологічних втрат від забруднення навколишнього природного середовища внаслідок пожежі // Науковий збірник «Проблеми пожарной безопасности» Харьков «Фолио» – 2003, вып.14 - С. 91 - 93.
8. Справочник «Пожароопасность веществ и материалов и средства их тушения». Под ред. А. Н. Баратова и А. Я. Корольченко. Книга вторая. // М. «Химия» - 1990.

REFERENCES

1. M. A. Kutsenko, G. I. Yelagin, A. G. Alekseev, H. S. Alekseeva. Evaluation of the number of harmful substances in combustion products during fire spoiled fluid liquids, and ecological losses as a result of such fire. «Nadzvichayni situacii: popedzennya ta likvidatciya», v. 4, №1 (2020), p. 39-47.
2. Nicolson P. C., Artman D. D. A technique for the evaluation of AFFF sealing characteristics // «Fire Technology», 1977, 13, №1, 13-20.
3. Klunik C. H. Has. AFFF agent come of age // Hydrocarbon Process, 1977, V56, N 9, p. 293-300 134/3-1).
4. A.s. 232761 СССР, Ognegasitelnoe sredstvo, publ. 07.05.1969.
5. G. I. Yelagin, M. G. Chkarabura, M. A. Krishtal, O. M. Tischenko. Osnovi teorii rozvitku ta pripinennya gorinna. – Cherkasi 2001 – С.447.
6. Pro zatverdzhennya Poryadku vstanovlennya normativiv zboru za zabrudnennya navkolyshnogo prirodnogo seredovyshha i styagnennya czogo zboru. Postanova kabinetu ministriv Ukraini vid 1 bereznia 1999 r. N 303.
7. Shkarabura M. G., Yelagin G. I., Kutsenko M. A. Metodika nablizhenogo rozrakhunku ekologichnikh vtrat vid zabrudnennya navkolishnogo prirodnogo seredovyshha vnaslidok pozhezhi // Naukovij zbirnik «Problemy požarnoj bezopasnosti», Kharkov «Folio» – 2003, vyp.14 - S. 91 - 93.
8. Spravochnik «Pozaropasnost veschestv I materialov I sredstva ih tusheniea». Pod. red. A. N. Baratova i A. Ya. Koroltcenko. Kniga vtoraya //M. «Chimiya» - 1990.

*Mariia Kutsenko, Candidate of economics sciences, dotsent,
Heorhii Yelagin, Candidate of chemical science, senior researcher officer,
Olena Alekseeva, Candidate of technical sciences, docent,*

Ivan Nesen,

*Ihor Nozhko, Candidate of pedagogic sciences,
Anatolii Alekseev, Candidate of chemical science, dotsent.*

Dmytro Kopytin,

*Cherkassy Institute of Fire Safety Named after Chernobyl Heroes
of National University of Civil Defense in Ukraine,*

**Oleksandr Yevsjukov, doctor of science in public administration, professor,
Institute of Public Administration and Research in Civil Protection**

**REDUCTION OF THE QUANTITY OF EMISSIONS OF HAZARDOUS SUBSTANCES
AND ENVIRONMENTAL LOSSES AS A RESULT OF FIRE OF FLAMMABLE LIQUIDS
SPILLED ON THE SURFACE OF WATER, WHEN FIRE EXTINGUISHING WITH AIR-
MECHANICAL FOAM**

Oil spills on the surface of a body of water (sea, ocean) lead to significant environmental pollution, which results in costs for the elimination of such accidents and corresponding fines in monetary terms. Even more damage is caused by the burning of such spills. You can partially reduce the amount of pollution by extinguishing the fire in time. In the proposed article, a comparison of ecological losses due to complete burnout of the spilled oil and losses due to partial cessation of combustion by air-mechanical foam is given on the model of spillage and burning of 1 ton of oil. It is estimated, that when 1 ton of oil is burned on the surface of the reservoir, environmental losses from the fire in monetary terms are approximately UAH 31.2. with complete oil burnout; UAH 28.11 - under the condition that 90% of the oil has burned before extinguishing; UAH 15.64 UAH - on the condition that 50% of the oil had time to burn before extinguishing and UAH 6.46. - on the condition that 20% of the oil had time to burn before extinguishing.

Key words: *oil, liquid combustion, harmful substances, ecological losses, air-mechanical foam.*