

УДК 614.8

DOI: <https://doi.org/10.31731/2524-2636.2021.5.1.-67-77>.

Марія Куценко, канд. екон. наук, доцент, (ORCID: 0000-0001-6879-9187),
Георгій Єлагін, канд. хім. наук, с. н. с, (ORCID: 0000-0003-2577-6430),
Анатолій Алексєєв, канд. хім. наук, доцент, (ORCID: 0000-0003-4114-5807),
Валентин Наконечний, канд. техн. наук, доцент, (ORCID: 0000-0002-1081-6383),
Олена Алексєєва, канд. техн. наук, доцент, (ORCID: 0000-0003-0119-4081)
Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля
Національного університету цивільного захисту України

ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ ГАСІННЯ ПОЖЕЖ РОЗЛИТИХ ГОРЮЧИХ РЕЧОВИН ЗАСОБАМИ НА ОСНОВІ ПОРИСТИХ НОСІЇВ З ІММОБІЛІЗОВАНИМИ ВОГНЕГАСНИМИ РЕЧОВИНАМИ

Вилів нафти на поверхню моря, океану призводить до екологічних лих. Ще більшої шкоди середовищу завдає її горіння, оскільки утворюються токсичні продукти згорання. В роботі із застосуванням моделі горіння 1 тис. тонн нафти проведено порівняння екологічних втрат від пожежі горючої рідини з витратами на її гасіння засобом на основі вогнегасячої солі. Показано, що використання для гасіння такого засобу дозволяє значно знизити екологічну шкоду навколишньому середовищу, яке обчислено у грошовому еквіваленті.

Ключові слова: екологічна безпека, пожежа, нафта та нафтопродукти, вогнегасячі засоби, пористі носії, іммобілізовані вогнегасячі солі, зниження екологічних втрат, грошовий еквівалент.

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 коштує доставка тонни вантажу. Тому танкер за один рейс везе тисячі тонн небезпечної рідини. Аварії таких танкерів, викликані природними причинами або терористичними актами, призводять до виліву горючої рідини на поверхню водойми. Такий вилів – 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. Пожежа горючої рідини продукує велику кількість продуктів повного та неповного згорання:

- вуглекислого газу, який сприяє глобальному потеплінню;
- чадного газу, отруйного для людей та тварин;
- диму – завислих у газоподібних продуктах згорання незгорілих твердих та рідких частинок, що мають канцерогенні властивості та знижують прозорість атмосфери;
- інших продуктів неповного згорання.

Крім того, при пожежах нафти, в першу чергу, відбувається вигорання легких вуглеводнів та утворення залишку у вигляді важкогорючої суміші мазуту з бітумом, яка має густину, близьку до густини води. У випадку пожежі на поверхні водойми така суміш опускається та плаває в товщі води. Використати для її ліквідації способи збирання, розроблені для розлитої нафти, яка не горіла, не є можливим. Ці залишки можуть переміщуватися на великі відстані та тривалий час створювати екологічну небезпеку для морських тварин та планктону [1, 2].

За порушення екологічної безпеки законодавством більшості розвинених країн передбачено штрафні санкції, які накладаються на власника компанії, що спричинила аварію. Розмір цих санкцій повинен відповідати витратам, необхідним для повернення навколишнього середовища в той стан, який був до аварії.

В основних принципах національної екологічної безпеки, сформульованих в Законі України «Про основні засади (стратегії) державної екологічної політики України на період до 2030 року» [3] теж посилена невідворотність відповідальності за порушення законодавства про охорону навколишнього природного середовища, а, як пріоритетну вимогу, вказано, що "забруднювач навколишнього природного середовища платить повну ціну".

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Пожежі в аварійних ситуаціях вилливу нафти або нафтопродуктів з морських суден або нафтових платформ виникають досить часто. Приклади деяких з них можна знайти в тому числі у повідомленнях останніх років [4-6].

Найбільш гучною справою в пожежах на воді стали вибух та пожежа на нафтовій платформі Deerwater Horizon в Мексиканській затоці, які сталися в 2010 році [7-10]. Наслідки втрат для навколишнього природного середовища для транснаціональної нафтогазової компанії British Petroleum було оцінено в 20,8 млрд. доларів. Слід зауважити, що на відміну від Українського законодавства, де штрафні санкції нараховуються не за збитками, а переважно за кількістю мінімальних неоподаткованих мінімумів доходів громадян, законодавство західних розвинених країн передбачає за порушення екологічної безпеки штрафні санкції власнику компанії, що спричинила аварію, в розмірі, який необхідний для повернення навколишнього середовища в той стан, який був до аварії.

Розмір шкоди, викликаної пожежами як на нафтопереробних заводах і в резервуарах, так і при аварійних розливах горючих рідин на поверхню водойм, носить як правило локальний характер, в зв'язку з тим, що кількість згорілої нафти і нафтопродуктів обмежена. При горінні ж нафтових фонтанів згорають тисячі тонн нафти на день. Прикладом такої ситуації можуть служити наслідки Іраксько-Кувейтської війни в 1991 р., коли за різними оцінками одночасно горіло до 749 свердловин [11].

Гасіння пожеж на поверхні водойми, особливо при великій площі розливу, є дуже складною задачею.

Для гасіння пожеж рідин застосовують з різною ефективністю всі чотири типи відомих на сьогоднішній день засобів. Але більшість цих методів ефективні лише при гасінні пожеж в приміщеннях, або пожеж невеликих розмірів, наприклад при загорянні в резервуарах невеликого діаметру, коли засіб можна подати одночасно на всю поверхню. При великій площі пожежі, особливо на відкритих просторах, та ще й на поверхні водойми (моря, океану), використання більшості з таких засобів стає проблематичним, а часто і просто неможливим.

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 питома густина води. 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» [12,13]. 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. [14,15].

На практиці для гасіння пожеж горючих рідин здебільшого використовуються ізоляційні засоби гасіння, в першу чергу, повітряно-механічні піни, що має суттєві недоліки. 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. У випадку ж пожежі на воді вони утворюють емульсію нафти у воді, що в подальшому 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.

Набагато меншої шкоди могло б завдати гасіння таких пожеж порошковими засобами. Вогнегасні порошкові засоби складаються з солі, яка володіє вогнегасячими властивостями та добавок інших солей [15]. Як і хладони, вони діють за механізмом інгібування процесу горіння, тобто реагують з активними частинками горіння і виводять їх з процесу. Головним компонентом вогнегасних композицій на основі вогнегасних порошоків є солі металів, здебільшого натрій карбонати та натрій бікарбонати, калій фосфати, калій хлориди, квасці, силіцій оксид, амоній фосфат тощо. Усі ці солі (калію, натрію та амонію хлориди, фосфати і карбонати) в сільському господарстві застосовуються як мінеральні добрива. В результаті, на відміну від піни і хладонів, вогнегасні порошки практично не завдають шкоди оточуючому середовищу.

Але при застосуванні порошоків для гасіння пожеж горючих рідин, особливо при розливі їх на поверхні водоймищ, виникає проблема. На відміну від піни, вогнегасний порошок здатен гасити полум'я лише при одночасній дії на всю площу пожежі, на весь об'єм зони горіння. Гасіння ж порошками пожеж рідин, що розлиті на великій площі, практично неможливе. При пожежах розлитих горючих рідин, в тому числі розлитих на поверхні водоймищ, зона горіння знаходиться безпосередньо над поверхнею рідини. Отже, щоб загасити таку пожежу, треба в ідеалі одночасно покрити усю поверхню вогнегасним засобом. Або вогнегасний засіб повинен діяти на окремій ділянці протягом часу, достатнього для ліквідації полум'я на сусідніх ділянках, унеможливлуючи повторне підпалювання. Саме це є проблемою при гасінні пожеж вогнегасними порошками. Будь-який вогнегасний порошок – це сіль. А сіль має питому густину, більшу за питому густину води і, тим паче, за питому густину вуглеводневих рідин. При нанесенні порошку на поверхню рідини, що горить, дрібні фракції виносяться конвективними потоками і залишають зону горіння; а більш грубі, «прориваючись» крізь ці потоки, діють тільки перші частки секунди. Далі вони занурюються під поверхню, теж залишаючи зону, в якій пари горючої рідини перемішані з повітрям. Залишена без захисту суміш відразу підпалюється полум'ям від сусідніх ділянок пожежі. Для реалізації можливості застосування вогнегасного засобу при гасінні пожеж розлитих рідин треба забезпечити його присутність в зоні горіння (на поверхні рідини, що горить), не частки секунди, а значно довший час.

В ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України протягом декількох років проводяться дослідження, спрямовані на створення інгібуючого засобу гасіння пожежі, який базувався б на нетоксичних речовинах, був технологічним у виготовленні і ефективним при використанні, у тому числі при використанні для гасіння пожеж розлитих горючих рідин [16-23]. В результаті було створено декілька типів нових вогнегасних засобів. Їх основна риса – високопористий носій з імпрегнованою на внутрішніх стінках капілярів вогнегасною сіллю. В якості носія використовуються спучений вермікуліт, спучений перліт або тирса деревини. В якості імпрегнованої компоненти – амонійні солі фосфорної кислоти. Пористий носій з адсорбованою на внутрішній поверхні пор вогнегасячою сіллю має насипну масу, меншу за густину води і, навіть, за густину будь-якого нафтопродукту. Достатньо грубі розміри часток, до 5 мм і невелика насипна маса носія (біля $0,12 \text{ г/см}^3$) дозволяють вирішити відразу декілька проблем. По-перше, при виготовленні носій просочується розчином вогнегасної солі і далі висушуються вже грубі частинки, які легко затримуються звичайними тканинними фільтрами, що спрощує технологію виготовлення засобу. По-друге, достатньо великі розміри цих частинок зменшують можливість їх виносу з зони горіння. По-третє, частинки носія, хоча і збільшують свою насипну масу після нанесення вогнегасної солі, все одно лишаються легшими і за воду і за органічні рідини. Отже, при застосуванні вони розташовуються на поверхні рідини і під дією вогню поступово віддають адсорбовані солі. Компоненти такого засобу, на відміну від піни, нешкідливі. Спучений вермікуліт використовується у сільському господарстві для структурування ґрунтів, деревна тирса є природним матеріалом, а вогнегасячі солі (амоній фосфат і ін.) є, по суті, мінеральними добривами. Так що, після придушення пожежі пористий носій із залишками вогнегасячої солі може бути легко зібраним з поверхні і використаним в якості агента, що структурує, і в якості мінерального добрива у сільському господарстві.

Мета та завдання дослідження. Мета даної роботи – порівняння екологічних втрат від пожежі горючої рідини з витратами на її гасіння саме таким засобом. Для цього в даній роботі поставлено задачі – оцінити кількість шкідливих речовин, що утворюються при пожежах розлитих вуглеводневих рідин, екологічні втрати від викидів цих речовин та екологічні податки на такий обсяг викидів.

Після придушення пожежі горючої рідини піною, залишки такої рідини як матеріальну цінність використовувати практично неможливо. Піноутворювач має біфільні властивості і утворює з водою та органічною рідиною стійку емульсію, розділення якої економічно не виправдовується. На відміну від піни, пористий носій, що має достатньо грубі розміри, може бути без особливих труднощів зібраний сітками, звільнивши відносно чисті залишки незгорілої товарної рідини. Однак, в даній роботі задля більшої наочності переваг нового засобу до уваги було взято лише екологічний аспект проблеми.

Методи досліджень. Можливі втрати від пожежі горючої рідини розраховано на прикладі горіння нафти одного з найбільших родовищ – Ромашкінського нафтового регіону [24]. Умовно прийнято, що при аварії танкеру, який перевозив 1 тис. тонн такої нафти, нафта поступово виливається на поверхню водойми площею $50 \times 50 = 2500 \text{ м}^2$ і горить. За відомою методикою [15] обчислено кількість шкідливих речовин, які потрапили б у навколишнє середовище при повному вигоранні цієї нафти і при гасінні пожежі за час, який потрібний для цього при використанні нового засобу. В грошовому обчисленні ці втрати визначалися з використанням рекомендацій інструкції «Про порядок обчислення та сплати збору за забруднення навколишнього середовища» [26, 27].

При розрахунку витрат на гасіння пожежі цієї рідини використано дані проведеного раніше техніко-економічного обґрунтування організації виготовлення засобів для гасіння пожеж горючих рідин на основі вогнегасних солей, іммобілізованих пористим носієм [28], середньої витрати засобу на 1 кв. м. площі пожежі і часу, необхідного для гасіння такої пожежі [18].

Результати досліджень. Нафта Ромашкінського нафтового регіону містить [24]: 84,33 % карбону, 11,93 % гідрогену, 3,5 % сірки, 0,2 % нітрогену та 0,04 % кисню. Як розраховано [29, 30], при горінні 1,1 кг нафти цього регіону при нормальних умовах утворилося б (у перерахунку на нормальні умови) 11 м³ газоподібних речовин, у яких в перший момент у стані зависі містилося б біля 110 г рідких та твердих частинок. В подальшому тверді та рідкі складові диму частково розсіюються в оточуюче середовище разом із газоподібними продуктами, а частково осідають на поверхню і перемішуються з поверхневими шарами води. При спалюванні 1 кг, цифри (у перерахунку на нормальні умови) матимуть вигляд: загальний об'єм 11,16 / 11 ≈ 10 м³, твердих і рідких частинок ≈ 100 г; CO₂ ≈ 11,4 % (об.), 2,75 кг; CO ≈ 1,3 % (об.), 0,20 кг; пари води ≈ 10,9 % (об.), 1,08 кг; SO₂ ≈ 0,2 % (об.), 0,06 кг; N₂ ≈ 76,2 % (об.), 10,30 кг.

При температурі пожежі (орієнтовно 1200 К) об'єм газоподібної фази зрозуміло буде більшим у 4-5 разів. При подальшому остиганні до температури оточуючого середовища він поступово буде зменшуватися до приблизно 11 м³ при тому ж відсотковому вмісті азоту, вологи і усіх шкідливих речовин, включно з твердими та рідкими залишками. Шкідливими з них є карбон оксид, карбон діоксид, сульфур діоксид та тверді і рідкі частинки. Для кожного типу утвореного шкідливого продукту розраховано екологічні (в грошовому обчисленні) втрати для повітряного і для водного басейнів. Проведений розрахунок [26, 27] показує, що при горінні 1 кг нафти Ромашкінського нафтового регіону екологічні збитки від пожежі складуть згідно українського законодавства:

$$\begin{aligned} A_{\phi} &= (2,75 \times 0,019 \times 0,002 \times 1,95 \times 1 + 0,2 \times 0,019 \times 0,5 \times 1,95 \times 1 + \\ &+ 0,06 \times 0,019 \times 1,0 \times 1,95 \times 1 + 0,05 \times 0,019 \times 0,5 \times 1,95 \times 1) + 0,05 \times 0,206 = \\ &= 0,000204 + 0,01755 + 0,002223 + 0,01030 = \\ &= 0,0312 \text{ грн/кг, або } 31,2 \text{ грн за } 1 \text{ тн нафти, яка згоріла.} \end{aligned}$$

Починаючи з 2018 року в українському законодавстві відбулися зміни. Так для стаціонарних джерел плата за викид в атмосферу шкідливих речовин значно зросла, наприклад, для вуглекислого газу до 10 грн. за тону. В результаті плата за викид продуктів згорання 1 тонни нафти вже становить 202,32 грн [29]. Але розрахунок враховує лише стаціонарні джерела, а не пожежі.

Техніко-економічні показники способу виготовлення вогнегасних засобів на основі вогнегасних солей, іммобілізованих тирсою деревини, розраховано на базі технології, запропонованої для реалізації в дослідно-випробувальній установці [28]. При цьому враховувалися: вартість потрібних матеріалів з урахуванням заготівельно-складських витрат; непрямі витрати, які включають адміністративно-господарські витрати з організації та проведення робіт; витрати на оплату праці робітників та кошторисна вартість експлуатації виробничих потужностей [28]. Розрахунок виконано з умовою добової норми виробництва у 300 кг, що може бути забезпеченим при однозмінній роботі (два завантаження за зміну) апаратом ємністю в 1 куб. м.

Як розраховано [28], повна вартість одного кілограма виготовленого за таких умов вогнегасного засобу складає:

- у випадку імпрегнування тирси амонійфосфатом – 12,97 грн;
- у випадку імпрегнування діамонійфосфатом – 7,35 грн.,
- тобто орієнтовно в середньому 10 грн.

Проведеними випробуваннями виявлено [18], що при витраті засобу у 0,5 кг на 1 кв. м. площі пожежі для припинення горіння нафтопродукту потрібно 10 сек.

Середня швидкість вигорання нафти становить 0,00006 м/сек, її густина – 0,8 г/см³ [31]. Отже, за 10 секунд вигорить $2500 \times 0,00006 \times 10 \times 0,8 = 1,2$ кг, які в загальній масі нафти, що горить, можна не враховувати. Згорання такої кількості нафти приведе до

$0,0312 \times 1,2 = 0.037$ грн екологічних втрат, тобто до дуже незначної суми. Витрата вогнегасного засобу при цьому складе $2500 \times 0,5 = 1250$ кг, що коштуватиме $250 \times 10 = 12500$ грн.

В той же час незгорілими залишаться 1000000 кг нафти, що тільки за рахунок захисту навколишнього середовища дозволить запобігти $1000000 \times 0,0312 = 31200$ грн втрат.

Таким чином, тільки за рахунок запобігання шкоди оточуючому середовищу, не говорячи вже про можливість використання врятованої нафти, гасіння такої умовної пожежі дозволяє зберегти $31200 - 12500 = 18700$ грн.

В приведеній моделі не враховано витрати на доставку засобу до місця пожежі і на доставку його у зону горіння. Але а рїогї зрозумїло, що вони будуть значно меншими, навїть тїльки за економїю втрат вїд шкоди оточуючому середовищу.

Обговорення результатів дослідження. Цифра у 31,2 грн за 1 тн нафти, що згорїла, не вїдображає повнїстю екологїчну шкоду, яку завдають навколишньому природному середовищу продукти згорання палива, але вона орієнтується на чинне Українське законодавство. З їншого боку, Україна поступово наближується до ЄС, отже в майбутньому законодавство буде наближатися до європейських норм. Найбїльша плата за викид вуглекислого газу в Норвегїї – 55 євро за тону, а в середньому (Нїмеччина, Італїя) – 20-23 євро за тону вуглекислого газу. Тому, в майбутньому, ця плата за викиди суттєво збїльшиться.

Розрахунок екологїчної шкоди аварїй та надзвичайних ситуацїй сучасними економїстами базується на величинї витрат, необхідних для того, щоб привести стан навколишнього природного середовища до обстановки, яка була до цїєї подїї. Забруднення ж навколишнього середовища диоксидом сульфур, крім шкоди здоров'ю людей, призводить ще й до кислотних дощїв та пригнїчення і знищення рослинностї, а диоксидом карбону – до змїни клїмату та глобального потеплїння.

Слїд зазначити, що в лютому 2005 року вступив в силу мїжнародний Кїотський протокол, який з метою запобїгання змїни клїмату та глобальному потеплїнню, зафіксував кїлькїсні зобов'язання розвинених країн і країн з перехїдною економїкою щодо обмеження та скорочення викидїв парникових газїв. Кїотський протокол – це мїжнародна угода мїж державами, і питання участї окремих господарюючих суб'єктїв у виконаннї нацїональних зобов'язань не розглядаються. На заміну Кїотському протоколу в рамках Рамкової конвенцїї ООН про змїну клїмату з 2020 р. має прийти Паризька угода.

Нацїональні зобов'язання щодо регулювання заходїв зі зменшення викидїв дїоксиду вуглецю будуть роздїленї мїж окремими пїдприємствами, і саме вони будуть вимушенї проводити вїдшкодування витрат щодо скорочення викидїв парникових газїв. Саме судновласники нафтових танкерїв, нафтодобувнї компанії, що добувають нафту з дна морїв та заток, є тими господарюючими суб'єктами, які внаслїдок аварїї будуть винуватцями пожеж та забруднення нафтою поверхнї морїв, заток та океанїв. В разї аварїї саме вони будуть прискорювати глобальну змїну клїмату.

Положення Кїотського протоколу та Паризької угоди передбачають, що країни-учасницї Конвенцїї, а, отже, і господарюючї суб'єкти можуть виконати свої зобов'язання не лише за рахунок реалїзацїї технологїчних заходїв по скороченню викидїв, а й шляхом використання ринкового механїзму за допомогою придбання прав на викиди [25]. Торгївля правами на викиди забезпечує найбїльш ефективний варїант зменшення викидїв. В 2011 роцї квота на викид 1 т вуглекислого газу за аукцїонними торгами коштувала 7,6 \$, що на теперїшнїй час орієнтовно еквівалентно 200 грн. Викид парникових газїв при горїннї 1 т нафти складу, що розглядається, складає 2,75 т CO₂ + 0,06 т SO₂. Якщо ж чадний газ в атмосферї поступово окислюється до вуглекислого газу, то до парникових газїв додатково додається ще 0,2 т. А сертифікат на цї викиди складє $2,81 \times 200 = 562$ грн. Ця цифра значно бїльша за розмїр виплат за забруднення навколишнього природного середовища, яке впливає на здоров'я людей згїдно з чинним законодавством. Причому, в розрахунку ще не врахованї

збитки від дії діоксиду сульфуру на кислотність дощів, оскільки міжнародними угодами не закріплена виплата збитків за такі викиди.

Отже, чинні методики економічних розрахунків протирічать означеним в українському законодавстві екологічним пріоритетам і найближчим часом будуть удосконалені в бік збільшення штрафних санкцій за токсичні викиди. Тобто, в реальності економія буде значно більшою, ніж розрахована для моделі в даній роботі.

Висновки

1. Із застосуванням моделі горіння 1 тис тонн нафти найбільш поширеного складу, розлитої на поверхні, розраховано можливість зниження втрат від такої пожежі для шкоди навколишньому природному середовищу шляхом її припинення засобами на основі вогнегасних солей, іммобілізованих тирсою деревини.

2. Показано, що при аварії танкеру, який перевозив би 1 тис. тонн такої нафти, яка поступово виливалася на поверхню водойми площею 2500 кв. м. і горіла, утворилися б на 1 кг згорілої нафти шкідливі речовини у кількості: 0,2 кг карбон оксиду; 2,75 кг карбон діоксиду; 0,06 кг сульфур діоксиду та 0,1 кг твердих і рідких частинок.

3. З використанням рекомендацій інструкції «Про порядок обчислення та сплати збору за забруднення навколишнього середовища» розраховано, що в грошовому обчисленні ці втрати оцінювалися б у 31,2 грн за 1 тн нафти, яка згоріла.

4. Знайдено, що тільки за рахунок запобігання шкоди оточуючому середовищу, не говорячи вже про можливість використання врятованої нафти, при гасінні такої умовної пожежі засобами на основі вогнегасних солей, іммобілізованих тирсою деревини, можна зберегти 18700 грн.

5. Показано, що екологічні втрати значно перевищують штрафні санкції, передбачені українським законодавством, а плата за викиди парникових газів при горінні розлитої нафти на два порядки менша ніж середньо європейська. Тому прогнозовано суттєвий зріст економічного ефекту від впровадження гасіння засобом на основі вогнегасячої солі, іммобілізованої на пористому носії.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Fate of Marine Oil Spills [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.itopf.org/fileadmin/data/Documents/TIPS%20TAPS/TIP_2_Fate_of_Marine_Oil_Spills.pdf.

2. Compensation for Ship-source Marine Oil Spills [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.itopf.org/knowledge-resources/documents-guides/compensation/>.

3. Закон України «Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року».

4. В Красном море взорвался иранский танкер вследствие ракетного обстрела. 01.10.2019 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://tsn.ua/ru/video/video-novini/v-krasnom-more-vzorvalsya-iranskiy-tanker-vsledstvie-raketnogo-obstrelya.html>.

5. Взрыв и пожар на танкере в Ульсане [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://seanews.ru/2019/09/30/ru-vzryv-i-pozhar-na-tankere-v-ulsane/>.

6. Взорвался танкер "Залив Америка". 02.11.19 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://tsn.ua/ru/svit/v-rossii-vzorvalsya-neftyany-tanker-est-pogibshie-1436772.html>.

7. Экология Мексиканского залива: год после разлива нефти [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.bbc.com/russian/science/2011/04/110420_oil_spill_year_on.

8. Международный симпозиум "Выброс нефти на платформе Deepwater Horizon в Мексиканском заливе. Уроки борьбы с крупным разливом нефти – эффективность и экологические последствия" [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://wwf.ru/upload/iblock/0d4/programma_all.pdf.

9. Ничего не изменилось после самой масштабной утечки нефти в Мексиканском заливе [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.vice.com/ru/article/3dq4w5/how-the-biggest-most-expensive-oil-spill-in-history-changed-nothing-at-all-111>.

10. Нефть. Мексиканский залив. Крупнейшие разливы нефти в истории человечества [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sovkalmykia.ru/raboty-s-fundamentom/neft-meksikanskii-zaliv-krupneishie-razlivy-nefti-v-istorii-chelovechestva.html>.

11. Сахаб Ахмед Али Нур. Ирако-кувейтский вооруженный конфликт 1990-1991 гг. и его международные последствия. - Вестник Волжского университета им. В. Н. Татищева, 2011. - С. 2-3.

12. Nicolson P. C., Artman D. D. A technique for the evaluation of AFFF sealing characteristics // «Fire Technology», 1977, 13, №1, 13-20.

13. Klunik C. H. Has. AFFF agent come of age // Hydrocarbon Process, 1977, V56, N 9, p. 293-300 134/3-1).

14. А.с. 232761 СССР, Огнегасительное средство, публ. 07.05.1969.

15. Єлагін Г. І., Шкарабура М. Г., Кришталь М. А., Тищенко О. М. Основи теорії розвитку і припинення горіння. – Черкаси: ЧПБ, 2001. – 448 с.

16. Деклараційний патент на корисну модель №91399. Опубл. 10.07.2014р., Бюл. № 13/2014, автори Г. І. Єлагін, М. А. Кришталь, Р. А. Палагін. Спосіб виробництва вогнегасного засобу.

17. Деклараційний патент на корисну модель №91400. Опубл. 10.07.2014р., Бюл. № 13/2014, автори Г. І. Єлагін, М. А. Кришталь, Р. А. Палагін. Вогнегасний засіб.

18. Деклараційний патент на корисну модель №136531. Опубл. 27.08.2019р., Бюл. № 16/2019, автори Г. І. Єлагін, Ю. О. Ющук, О. С. Алексеева. Вогнегасний засіб.

19. Деклараційний патент на корисну модель №136533. Опубл. 27.08.2019р., Бюл. № 16/2019, автори Г. І. Єлагін, Ю. О. Ющук, О. С. Алексеева. Спосіб виготовлення вогнегасного засобу.

20. Деклараційний патент на корисну модель №141869. Опубл. 27.04.2020р., Бюл. № 8, автори Г. І. Єлагін, О. М. Нуянзін, Є. О. Тищенко, О. С. Алексеева, В. В. Наконечний. Вогнегасний засіб.

21. Деклараційний патент на корисну модель №141870. Опубл. 27.04.2020р., Бюл. № 8, автори Г. І. Єлагін, О. М. Нуянзін, Є. О. Тищенко, О. С. Алексеева, В. В. Наконечний. Спосіб виготовлення вогнегасного засобу.

22. Деклараційний патент на корисну модель №144950. Опубл. 10.11.2020р., Бюл. № 21, автори Г. І. Єлагін, Є. О. Тищенко, О. С. Алексеева, В. В. Наконечний, А. Г. Алексеев, М. А. Куценко. Вогнегасний засіб.

23. Деклараційний патент на корисну модель №144952. Опубл. 10.11.2020р., Бюл. № 21, автори Г. І. Єлагін, Є. О. Тищенко, О. С. Алексеева, В. В. Наконечний, А. Г. Алексеев, М. А. Куценко. Спосіб виготовлення вогнегасного засобу.

24. Химический состав нефти // Сайт Роспайп [Электронный ресурс] (дата оновлення: 8.05.2016). URL: http://ros-pipe.ru/tekh_info/tekhnicheskie-stati/khranenie-i-transportirovka-nefteproduktov/khimicheskiiy-sostav-nefti/ (дата звернення: 22.03.2021).

25. Торгівля квотами на викиди на практиці // Міжнародний банк реконструкції та розвитку. 2016. – 244 с.

26. Постанова Кабінету Міністрів України від 15 лютого 2002 року № 175 «Про затвердження Методики оцінки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру».

27. 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.

28. Куценко М. А., Єлагін Г. І., Алексєєва О. С., Ющук І. Ю., Заїка П. І., Наконечний В. В. Техніко-економічне обґрунтування організації виготовлення засобів для гасіння пожеж горючих рідин на основі вогнегасних солей, іммобілізованих пористим носієм. «Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація». Збірник наукових праць Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, 2019, том 3, № 1.

29. Куценко М. А., Єлагін Г. І., Алексєєв А. Г., Алексєєва О. С., Наконечний В. В. Оцінка кількості шкідливих речовин в продуктах згорання при пожежі розлитих горючих рідин, та екологічних втрат внаслідок такої пожежі. «Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація», 2020, том 4, №1, с. 39-47.

30. Алексєєв А. Г., Єлагін Г. І., Куценко М. А., Алексєєва О. С., Наконечний В. В. Екологічні наслідки пожеж на поверхні водойм та способи зниження їх негативного впливу. «Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація» Збірник наукових праць Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, 2019, том 3, № 1, стор. 42-50.

31. Баратов А. Н., Корольченко А. Я. и др. Пожаро-взрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник. – Москва. «Химия» - книга 2, 1990 – стр. 39.

REFERENCES

1. Fate of Marine Oil Spills. Site: The International Tanker Owners Pollution Federation Limited. Retrieved from: https://www.itopf.org/fileadmin/data/Documents/TIPS%20TAPS/TIP_2_Fate_of_Marine_Oil_Spills.pdf.

2. Compensation for Ship-source Marine Oil Spills. Retrieved from: <https://www.itopf.org/knowledge-resources/documents-guides/compensation/>.

3. Zakon Ukrainy Pro osnovni zasady (strategiya) derzhavnoi ekologichnoi polityki Ukrainy na period do 2030 roku [Law of Ukraine: On the Fundamental Principles (Strategy) of the State Environmental Policy of Ukraine for the Period up to 2030] : pryiniaty 28 lyutogo 2019 roku # 2697-VIII [in Ukrainian].

4. V Krasnom more vzorvalsia yranskiy tanker vsledstvye raketnoho obstrela. 01.10.2019. Retrieved from: <https://tsn.ua/ru/video/video-novini/v-krasnom-more-vzorvalsya-iranskiy-tanker-vsledstvie-raketnoho-obstrela.html> [in Russian].

5. Vzryv i pozhar na tankere v Ulsane. Retrieved from: <https://seanews.ru/2019/09/30/ru-vzryv-i-pozhar-na-tankere-v-ulsane/> [in Russian].

6. Vzorvalsia tanker "Zalyv Ameryka". 02.11.19. Retrieved from: <https://tsn.ua/ru/svit/v-rossii-vzorvalsya-neftyanoy-tanker-est-pogibshie-1436772.html> [in Russian].

7. Ekolohiia Meksykanskoho zalyva: hod pislia razlyvu nafty. Retrieved from: https://www.bbc.com/russian/science/2011/04/110420_oil_spill_year_on [in Russian].

8. Mezhdunarodnyi simpozyum "Vybrosh nafty na platforme Deepwater Horizon v Meksykanskom zalyvi. Uroky borby s krupnym razlyvom nafty – efektyvnost i ekolohicheskie posledstviia". Retrieved from: https://wwf.ru/upload/iblock/0d4/programma_all.pdf [in Russian].

9. Nycheho ne izmenilos posle samoi masshtabnoi utechky nafty v Meksykanskom zalyve. Retrieved from: <https://www.vice.com/ru/article/3dq4w5/how-the-biggest-most-expensive-oil-spill-in-history-changed-nothing-at-all-111> [in Russian].

10. Neft. Meksykanskiy zalyv. Krupneishye razlyvy nafty v istoryy chelovechestva. Retrieved from: <https://sovkalmyskia.ru/raboty-s-fundamentom/neft-meksikanskii-zaliv-krupneishie-razlyvy-nefti-v-istorii-chelovechestva.html> [in Russian].

11. Sakhab Akhmed Ali Nur. Irako-kuveitskiy vooruzhennyi konflikt 1990-1991 hh. i yeho mezhdunarodnye posledstviia. - Vestnik Volzhskogo unyversyteta im. V. N. Tatysheva, 2011. - с. 2-3 [in Russian].

12. Nicolson P. C., Artman D. D. A technique for the evaluation of AFFF sealing characteristics // «Fire Technology», 1977, 13, №1, 13-20.
13. Klunik C. H. Has. AFFF agent come of age // Hydrocarbon Process, 1977, V56, N 9, p. 293-300 134/3-1).
14. A.s. 232761 USSR, Ohnehasytelnoe sredstvo, publ. 07.05.1969.
15. Yelagin G., Shkarabura M., Krishtal M., Tishhenko O. (2001) Osnovi teorii rozvitku i pripinennya gorinnya (Skorochenij kurs). [Basics of the theory of development and termination of combustion (Short Course): a textbook] Cherkasi: ChIPB, 2001. – 448 p. [in Ukrainian].
16. G. I. Yelagin, M. A.Kryshtal, R. A.Palagin. Sposib vyrobnytstva vohnehasnoho zasobu Declaratory patent № 91399. Publ. 10.07.2014, Bul. № 13/2014.
17. G. I. Yelagin, M. A.Kryshtal, R. A.Palagin. Vohnehasnyi zasib. Declaratory patent № 91400. Publ. 10.07.2014, Bull. № 13/2014.
18. G. I. Yelagin, Yu. O. Iushchuk, O. S. Aleksieieva. Vohnehasnyi zasib. Declaratory patent № 136531. Publ. 27.08.2019, Bull. № 16/2019.
19. G. I. Yelagin, Yu. O. Iushchuk, O. S. Aleksieieva. Sposib vyrobnytstva vohnehasnoho zasobu. Declaratory patent № 136533. Publ. 27.08.2019, Bull. № 16/2019.
20. G. I. Yelagin, O. M. Nuianzin, Ye. O. Tyshchenko, O. S. Aleksieieva, V. V. Nakonechnyi. Vohnehasnyi zasib. Declaratory patent № 141869. Publ. 27.04.2020, Bull. № 8.
21. G. I. Yelagin, O. M. Nuianzin, Ye. O. Tyshchenko, O. S. Aleksieieva, V. V. Nakonechnyi. Sposib vyrobnytstva vohnehasnoho zasobu. Declaratory patent № 141870. Publ. 27.04.2020, Bull. № 8.
22. G. I. Yelagin, Ye. O. Tyshchenko, O. S. Aleksieieva, V. V. Nakonechnyi, A. G. Aliksieiev, M. A. Kutsenko. Vohnehasnyi zasib. Declaratory patent № 144950. Publ. 10.11.2020, Bull. № 21.
23. G. I. Yelagin, Ye. O. Tyshchenko, O. S. Aleksieieva, V. V. Nakonechnyi, A. G. Aliksieiev, M. A. Kutsenko. Sposib vyrobnytstva vohnehasnoho zasobu. Declaratory patent №144952. Publ. 10.11.2020, Bull. № 21.
24. Khymycheskyi sostav nefty. Retrieved from: http://ros-pipe.ru/tekh_info/tekhnicheskie-stati/khranenie-i-transportirovka-nefteproduktov/khimicheskij-sostav-nefti/. [in Russian].
25. Torhivlia kvotamy na vykydy na praktytsi // Mizhnarodnyi bank rekonstruktsii ta rozvytku. 2016. – 244 c. [in Ukrainian].
26. Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 15 liutoho 2002 roku № 175 «Pro zatverdzhennia Metodyky otsinky zbytkiv vid naslidkiv nadzvychainykh sytuatsii tekhnohennoho i pryrodnoho kharakteru»/. [in Ukrainian].
27. Shkarabura M. (2003) Approximate calculation of environmental losses from environmental pollution due to fires / Shkarabura M., Elagin G., Kuczenko M. // Scientific collection "Problems of fire safety" Kharkov «Folio» – 2003, #14 - p. 91 – 93 [in Ukrainian].
28. Kutsenko M. A., Yelagin G. I., Aleksieieva O. S., Yushchuk I. Iu., Zaika P. I., Nakonechnyi V. V. Tekhniko-ekonomichne obgruntuvannia orhanizatsii vyhotovlennia zasobiv dlia hasinnia pozhezh horiuchykh ridyn na osnovi vohnehasnykh solei, immobilizovanykh porystym nosiiem. «Nadzvychaini sytuatsii: poperedzhennia ta likvidatsiia». Zbirnyk naukovykh prats Cherkaskoho instytutu pozhezhnoi bezpeky imeni Heroiv Chornobylia Natsionalnoho universytetu tsyvilnoho zakhystu Ukrainy, 2019, tom 3, № 1, [in Ukrainian].
29. Kutsenko M. A., Yelagin G. I., Aliksieiev A. H., Aleksieieva O. S., Nakonechnyi V. V. Otsinka kilkosti shkidlyvykh rehovyn v produktakh zghorannia pry pozhezhi rozlytykh horiuchykh ridyn, ta ekolohichnykh vtrat vnaslidok takoi pozhezhi. «Nadzvychaini sytuatsii: poperedzhennia ta likvidatsiia», 2020, tom 4, №1, s. 39-47, [in Ukrainian].
30. Aliksieiev A. G., Yelagin G. I., Kutsenko M. A., Aleksieieva O. S., Nakonechnyi V. V. Ekolohichni naslidky pozhezh na poverkhni vodoim ta sposoby znyzhennia yikh nehatyvnoho vplyvu. «Nadzvychaini sytuatsii: poperedzhennia ta likvidatsiia» Zbirnyk naukovykh prats

Cherkaskoho instytutu pozhezhnoi bezpeky imeni Heroiv Chornobylia Natsionalnoho universytetu tsyvilnoho zakhystu Ukrainy, 2019, tom 3, № 1, stor. 42-50, [in Ukrainian].

31. Baratov A. N., Korolchenko A. Ia. y dr. Pozharo-vzryvopasnost veshchestv i materyalov i sredstva ikh tusheniia. Spravochnik. – Moskva. «Khimiia» - knyha 2, 1990 – str.39 [in Russian].

*Mariia Kutsenko, Candidate of Economics, Associate Professor,
Heorhii Yelagin, Candidate of Chemical Science, Senior Researcher,
Anatolii Alekseev, Candidate of Chemical Science, Associate Professor,
Valentyn Nakonechny, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Olena Alekseeva, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Cherkassy Institute of Fire Safety Named after Chernobyl Heroes
of National University of Civil Defense in Ukraine*

JUSTIFICATION OF TECHNICAL AND ECONOMIC EXPENDITURE OF FIRE EXTINGUISHING OF SPILLED COMBUSTIBLE SUBSTANCES BY MEANS BASED ON POROUS CARRIERS FROM IMMOBYMOGIL

Oil and most of its products are classified as highly hazardous flammable liquids. In an accident, these fluids sometimes spill uncontrollably and ignite. A spill of oil or oil products leads to environmental disasters, especially when it spills onto the surface of a reservoir, sea or ocean. Additional damage to the environment is caused by their combustion. A flammable liquid fire produces a large amount of harmful, toxic products of complete and incomplete combustion. Putting out a fire as soon as possible means not only saving material values, but also significantly protecting the environment. For violation of environmental safety, the legislation of most developed countries provides for penalties imposed on the owner of the company who caused the accident. The size of these sanctions should correspond to the costs required to return the environment to the state it was in before the accident. Consequently, the degree of reduction of environmental losses due to timely extinguishing of a fire can be estimated in monetary terms.

In this work, using a model of burning 1 thousand tons of oil, a comparison is made between the ecological losses from a fire of a combustible liquid with the costs of extinguishing it with a means based on a fire extinguishing salt immobilized by a thin layer on the inner surface of a porous carrier. It is shown that, even without taking into account the cost of the rescued oil as a material value, the use of such an extinguishing agent for extinguishing can significantly reduce the environmental damage to the environment. This reduction for the proposed model is calculated in monetary terms. It is shown that environmental losses significantly exceed the penalties provided for by Ukrainian legislation. The growth of the economic effect from the introduction of spilled oil extinguishing by the developed means is predicted.

Key words: *environmental safety, fire, oil and oil products, fire extinguishing agents, porous carriers, immobilized fire extinguishing salts, environmental losses, monetary equivalent.*