

УДК 614.8:504.06:519.87

С. І. Азаров, д. т. н., с. н. с., провід. наук. співр.

Інститут ядерних досліджень НАН України
пр. Науки, 47, м. Київ, Україна, 03680

В. Л. Сидоренко, к. т. н., доцент, нач. каф.

Інститут державного управління у сфері цивільного захисту
вул. Вишгородська, 21, м. Київ, Україна, 04074

О. С. Задунай, нач. центру

Державний науково-дослідний інститут спеціального зв'язку та захисту інформації
вул. Солом'янська, 13, м. Київ, Україна, 03110

АНАЛІЗ БЕЗПЕКИ ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

У статті розглядається зміст етапів розвитку одного з найбільш важливих розділів безпеки потенційно небезпечних об'єктів – теорії техногенного ризику. Описано стан питання з поясненням техногенної безпеки складних критично важливих потенційно небезпечних об'єктів. Наведено перелік найбільш перспективних математичних методів і моделей кількісної оцінки техногенного ризику. Запропоновано концептуальні підходи до стохастичного виміру техногенних ризиків. Описано сутність рейтингового підходу до моделювання ризиків і запропоновано нові підходи до моделювання їх у сучасній теорії надійності нечітких множин.

Ключові слова: безпека, ризик, техногенний ризик, потенційно небезпечні об'єкти, аварія, катастрофа.

Постановка проблеми. Безпека є однією з найбільш соціально значущих характеристик діяльності виробництв, пов'язаних з ризиком завдання шкоди людям, матеріальним цінностям, природі в ході виконання суспільно корисних робіт. З цього випливає необхідність ретельного вивчення умов виникнення такої шкоди, розробки та реалізації заходів щодо її мінімізації. Причому мова йде не тільки про проведення спеціальних досліджень у цьому питанні, а про формування так званої культури безпеки за рахунок передачі накопичуваних знань широкого кола фахівців, які здійснюють небезпечну діяльність, формують нормативно-правову та методичну основу цієї діяльності, а також створення умов реалізації цих знань, неформальне включення їх в технології небезпечних робіт.

В середині 1960-х і на початку 1970-х років людство зіткнулося з дуже складною проблемою убезпечення потенційно небезпечних об'єктів (ПНО). Питання безпеки людини мають першорядне значення для всіх розвинутих країн. Проте її наукова розробка почалася усього кілька десятиліть тому, а в Україні цьому питанню почали приділяти увагу із середини 1990-х років. З цього часу в промисловості України помітно збільшилося середнє зношення обладнання, а отже, і ризик виникнення аварійних та надзвичайних ситуацій і постійного забруднення навколишнього середовища. Стало зрозуміло, що займатися безпекою виробництва треба не тільки на рівні відділів техніки безпеки й охорони праці, але і на більш високих рівнях: виробництва, галузі тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Над проблемою дослідження безпеки ПНО працюють багато вітчизняних і закордонних спеціалістів та науковців. Різні аспекти та окремі підходи до дослідження цієї проблеми висвітлено у чисельних працях, але через те, що цей процес є безперервним, постійним і надзвичайно актуальним, дослідження тривають.

Постановка завдання та його вирішення.

ПНО – об'єкт, виробництво, на якому використовують, виробляють, переробляють, зберігають або транспортують пожежовибухонебезпечні, радіаційно небезпечні та (або) хімічно небезпечні речовини, що створюють реальну загрозу виникнення аварії.

Безпека будь-якої промислової установки, а тим більш складної системи або транспортного засобу, не може бути абсолютною – такою є «технічна» природа безпеки. Будь-які види промислової діяльності й на транспорті характеризуються наявністю ризику виникнення аварій (або катастроф) із серйозними наслідками. Найбільші наслідки аварій і катастроф можливі в хімічній промисловості, ядерній енергетиці та на транспорті. Так, наприклад, у хімічній промисловості – це потенційна небезпека витоку токсичних речовин в навколишнє середовище, небезпека пожеж та вибухів на хімічних заводах. Особливою небезпекою позначені об'єкти ядерної енергетики, основну частину яких складають атомні станції. Важкі аварії та катастрофи на АЕС відбуваються рідко, але їх наслідки при цьому дуже значні. Це пов'язано з утворенням і накопиченням на АЕС і радіаційно небезпечних об'єктах значної кількості радіоактивних речовин в процесі їх експлуатації та можливим викидом радіонуклідів у навколишнє середовище. Саме з цієї причини з підприємствами хімічної промисловості та АЕС пов'язаний специфічний ризик – потенційна небезпека для персоналу, населення і навколишнього середовища в разі виходу токсичних речовин і радіоактивних продуктів за межі захисних бар'єрів.

При розробці систем управління безпекою на ПНО серйозна увага має приділятися аналізу ризиків. Аналіз ризику або ризик-аналіз (risk analysis) – процес ідентифікації (виявлення) небезпек і оцінки ризику для людей, матеріальних об'єктів, навколишнього природного середовища та ін. При цьому під загрозою розуміється

джерело потенційної шкоди або ситуація з можливістю завдання збитків, а під ідентифікацією небезпеки – її процес виявлення, а також визначення її характеристик. Аналіз ризику – багато в чому суб'єктивний процес, у ході якого враховуються не тільки кількісні показники, а й показники, що не піддаються формалізації: позиції та думки різних суспільних груп, можливість компромісних рішень, експертні оцінки і т.д. Особливість аналізу технологічного ризику полягає в тому, що розглядаються потенційно негативні наслідки, які можуть виникнути внаслідок відмови технічних систем, збоїв у технологічних процесах або помилок з боку експлуатаційного персоналу.

ПНО повинні регулярно інспектуватися як фахівцями самого підприємства або об'єкта, так і окремо інспекторами компетентних органів. Програма інспектування ПНО складається компетентними органами на підставі доповіді про безпеку об'єкта. Важливо зазначити, що персонал, відповідальний за техніку безпеки об'єкта, повинен бути незалежний від виробничої структури управління і мати прямий доступ до адміністрації об'єкта.

Техногенний ризик як критерій безпеки. Відповідно до сучасних поглядів ризик зазвичай розуміється як імовірна міра виникнення небезпечних техногенних або природних явищ, а також характеристика розміру завданих при цьому соціального, економічного, екологічного та інших видів шкоди та втрат. Іншими словами, під ризиком слід розуміти очікувану частоту чи ймовірність виникнення небезпек певного класу, або ж розмір можливих збитків (втрат, шкоди) від небажаної події, або ж деяку комбінацію цих величин. Застосування поняття ризику дає змогу переводити небезпеку в розряд вимірюваних категорій. Ризик фактично є мірою небезпеки. Часто використовується поняття «ступінь ризику» (level of risk), що, по суті, не відрізняється від поняття ризику – лише підкреслює, що йдеться про вимірювану величину. Всі перераховані (або подібні) інтерпретації терміна «ризик» використовуються в даний час при аналізі небезпек і управлінні безпекою (ризиком) технологічних процесів. Виникнення небезпечних ситуацій є результатом прояву певної сукупності факторів ризику, що породжуються тими чи іншими джерелами, обставинами, умовами.

Природні, фінансові, політичні та соціальні ризики завжди були, є і, мабуть, будуть у житті людства. Починаючи з ХХ ст. проявляється ще один небезпечний вид ризику – техногенний. Особливо гостро перед людством проблема техногенного ризику постала у другій половині ХХ ст., коли під впливом науково-технічної революції з'явилися структурно й функціонально складні та високонебезпечні системи, виробництва і технології в галузі транспорту, енергетики, видобутку і переробки природних копалин. В Україні, за даними щорічних доповідей Державної служби України з питань надзвичайних ситуацій (ДСНС) [1, 2], за останній період мали місце понад 1300–1500 надзвичайних ситуацій, з

яких близько 70–75 % – техногенного та 25–30 % – природного характеру. Число техногенних надзвичайних ситуацій на промислових об'єктах становить близько 15–20 %, на цивільних об'єктах – 20–25 %, на транспорті – близько 10–15 %, на магістральних трубопроводах – 3–5 %, на ядерних об'єктах – 1 %, на хімічних об'єктах – 4–6 %, на авіаційному транспорті – 3–5 %, на судах – 2–3 %.

Техногенна надзвичайна ситуація – стан, за якого внаслідок виникнення джерела такої ситуації на об'єкті, визначеній території порушуються нормальні умови життя і, діяльності людей, виникає загроза їх життю і здоров'ю, завдається шкода майну населення, народному господарству та навколишньому природному середовищу.

Упродовж 2011–2015 років в Україні зареєстровано 867 випадків надзвичайних ситуацій (далі – НС), що розподілилися таким чином: техногенного характеру – 466; природного характеру – 343; соціального характеру – 58. Унаслідок цих НС загинули 1436 осіб та 4342 людини постраждало. За масштабами 13 НС набули державного рівня; 45 – регіонального; 351 – місцевого та 458 – об'єктового рівня. Загалом, унаслідок НС техногенного характеру впродовж зазначеного періоду загинули 1076 людей та 1218 осіб постраждало [3, 4].

За даними ООН загальне число природних катастроф зросло з 73 в 1975 році до 740 в 2012. Число ж техногенних аварій і катастроф у цей період збільшилося втричі: з 1230 – з 1978 по 1987 рік до 5430 – з 1998 по 2012 рік. Якщо відносна зміна за роками числа природних катастроф порівняно невелика (відносно зростання до 1,64), то коефіцієнт наростання техногенних аварій і катастроф за останні 5–10 років різко збільшився до 6,0. Темп наростання техногенних аварій і катастроф збільшувався в 3,5 разів швидше, ніж природних [5].

У теорії техногенного ризику можна виділити три етапи його становлення та розвитку.

Перший етап становлення техногенного ризику. У 1967 і 1972 роках з'явилися роботи Ф. Фармера [6] з питань безпеки та ризику в ядерній енергетиці. У цих роботах зазначалося, що при експлуатації АЕС не виключена ймовірність інцидентів і аварій, включаючи важкі, пов'язані з пошкодженням тепловіділяючих елементів (твелів) і виходом з них радіоактивних речовин. У ці ж роки у СРСР і США було сформовано проектно-конструкторські та наукові організації, що на високому професійному рівні займалися оцінкою надійності та безпеки складних найнебезпечніших систем. Таким чином до 1975 року у світі сформувався науковий напрям, об'єктом дослідження якого стали ризикові ситуації в промисловості та на транспорті. Цю дату можна вважати закінченням першого етапу становлення теорії технічної й техногенної безпеки, коли поняття «ризик» набуло особливого значення в теорії безпеки технічних систем. Причому одним з основних кількісних показників безпеки стає поняття «техногенний ризик».

Терміни «технічний ризик» і «техногенний

ризик» стали широко використовуватися в останні 15–20 років. Серйозним поштовхом до дослідження техногенного ризику послужили аварії та катастрофи на АЕС Tree Maile Asland (ТМІ) (США, 1979 р.), вибух і пожежа на хімічному комбінаті в Бхопалі (Індія, 1984 р.) і аварія на Чорнобильській АЕС (Україна, 1986 р.).

Другий етап розвитку техногенного ризику. У 1980-і роки розпочався другий етап розвитку теорії техногенного ризику. Він характеризується розробкою методології та технології дослідження техногенного ризику. Стало очевидним, що розвиток цивілізації призвів до виникнення особливих умов існування – техносфери. А розвиток техносфери, у свою чергу, сприяє накопиченню великих потенційних небезпек – техногенних факторів. У відповідь потенційним небезпекам техносфери знадобилося відволікання частини ресурсів суспільства на створення технічних систем безпеки. Однак технічні системи безпеки, поряд із соціально-економічними, поки не дають змоги повністю виключити вплив несприятливих техногенних факторів. У цей період було розроблено кілька концепцій побудови технічних систем безпеки: абсолютної безпеки (безаварійної експлуатації), максимальної проектно аварії, прийнятної ризику. Для аналізу ризику використовується ряд концепцій, різних за досліджуваними сферами: технократичною, економічною, психологічною та соціологічною.

Остання декада ХХ ст. і перше десятиліття ХХІ ст. характерні прийняттям низки державних і галузевих законів, розпоряджень та інструкцій, де визначено етапи переходу при оцінці безпеки промислових виробництв і транспорту на використання показників ризику. До початку першого десятиліття ХХІ ст. сформувалися три напрями дослідження техногенного ризику: аналіз, оцінка та прогноз. В рамках зазначених концепцій техногенного ризику стали широко використовуватися різні методи: феноменологічні, детерміністичні, імовірнісні та експертні. Багато проблем організації безпеки систем вирішила концепція, що базується на імовірнісному аналізі безпеки (ІАБ).

В основу ІАБ було покладено той емпіричний факт, що ніяка діяльність не може бути цілком безпечною, тобто неможливо досягти абсолютної безпеки при застосуванні технічної системи. Таким чином відправною, точкою аналізу безпеки стає поняття ризику, пов'язаного з даною технологією, і рівня прийнятної ризику, зумовленого економічними і соціальними чинниками.

Третій етап розвитку техногенного ризику. Як часто буває, в розвитку науки після перших років накопичення первинних знань у даній теорії постає лавиноподібний потік інформації. Так сталося і з теорією ризику загалом та теорією техногенного ризику зокрема. Наприкінці ХХ і на початку ХХІ ст. стався справжній інформаційний вибух у розвитку теорії техногенного ризику. В Україні й за кордоном опубліковано велику кількість монографій, наукових статей, навчальної літератури з

проблематики техногенного ризику. В нашій країні виходить понад 10 журналів, щорічно проводиться кілька міжнародних і вітчизняних галузевих симпозіумів і конференцій з тематики техногенного ризику. Фундаментальні основи теорії техногенного ризику активно розробляються науковими центрами. Прикладні дослідження і розробки виконуються науковими установами провідних міністерств і відомств України та найбільш плідно організаціями, пов'язаними з НС.

Постановка завдань кількісної оцінки техногенного ризику. Після відомих техногенних катастроф останньої третини ХХ ст. і першого десятиліття ХХІ ст. питання аналізу, оцінки і прогнозування відмов, аварій та катастроф залишаються не тільки надзвичайно актуальними, а й стають однією з головних проблем виживання людства. У цьому плані необхідним є подальший розвиток одного з важливих розділів теорії безпеки складних динамічних високонебезпечних систем – теорії техногенного ризику.

Як відомо [7, 8], кількісне значення ризику визначається за допомогою формули

$$R = H \{Q \times C\}, \quad (1)$$

де R – кількісний показник ризику; H – шуканий оператор; Q – імовірність вихідної події; C – наслідки (збитки) від вихідної події (відмови, аварії, катастрофи).

Недоліками даного підходу є:

- 1) неврахування зміни величин Q і C в часі;
- 2) величини Q і C є або випадковими величинами, або випадковими процесами, що спостерігаються під час реальної експлуатації систем.

Нехай множини: $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}, q_i \in Q, i = \overline{1, n}$ – безліч можливих імовірностей вихідних подій (відмов, аварій, катастроф); $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}, c_i \in C, i = \overline{1, n}$ – безліч наслідків (збитків) від настання i -х вихідних подій; $t_i \in T$ – безліч моментів часу; $R_i \in R$ – безліч можливих ризиків

$$R = \sum_{i=1}^n R_i. \quad (2)$$

Очевидно, що

$$R = H \{Q \times C \times T\}, \quad (3)$$

або у скалярній формі

$$R(q, c, t) = \sum_{i=1}^n q_i(t) c_i(t), \quad (4)$$

де H – оператор, який реалізує відображення.

$$Q \times C \times T \rightarrow R, \quad (5)$$

або

$$R(q, c, t) = H \{t, t_0, R_0(q_0, c_0, t_0), R(q, c)^i t_0\}, \quad (6)$$

де t – поточний момент часу, в якому визначається ризик; t_0 – початковий момент спостереження за станом системи, $t \geq t_0$; c_0, R_0 – відповідно ймовірність вихідних станів динамічної системи, збитки і ризик у початковий момент часу спостереження за станом системи.

Оператор H може бути представлений набором більш простих операторів

$$H = \{H_j\}, j = \overline{1, m}. \quad (7)$$

Число m видів оператора H залежить від складності системи, взаємодії підсистем, блоків і елементів у системі (тобто характеру внутрішніх зв'язків), впливу зовнішнього середовища, кількості ланок в ієрархії управління, видів небезпек і загроз та інших різних факторів. Очевидно, що завдання кількісної оцінки значень техногенного ризику полягають у визначенні виду і значень оператора H . Найбільш перспективні напрями розвитку математичних методів і моделей кількісної оцінки техногенного ризику ПНО можна, на наш погляд, класифікувати наступним чином:

- моделі співвідношення ймовірностей вихідних подій аварій та катастроф ПНО і шкоди від них у рамках теорії випадкових величин і процесів;

- методи безперервних і дискретних марківських процесів;

- методи і моделі розривних випадкових процесів;

- методи і моделі немарківських випадкових процесів;

- моделі теорії катастроф;

- моделі теорії фракталів;

- методи і моделі оцінки фактора часу в умовах екстремальних навантажень на обладнання ПНО.

Техногенні ризики являють собою категорію, пов'язану з невизначеністю, що зумовлює використання теорії ймовірності. При цьому ризик моделюється випадковою величиною (ймовірнісним розподілом). Стохастичне моделювання виступає однією з найбільш розвинених областей моделювання техногенних ризиків, яка включає різноманітні інструментарії теорії ймовірності та математичної статистики. Моделювання техногенних ризиків значною мірою ґрунтується на статичних, аналогових і деменантних базах даних.

Логіка стохастичного моделювання техногенних ризиків базується на моделюванні ймовірнісних характеристик окремих ризиків і форми ймовірнісних характеристик всіх ризиків, впровадженні заходів щодо ризиків, їх оптимізації та мінімізації.

Особливістю моделювання ймовірнісних характеристик окремих видів ризиків є дискретність або безперервність різноманітних подій, симетричність або асиметричність, стрибкоподібні зміни в момент НС.

Розподіл подій техногенних ризиків можна описати емпіричною формулою

$$F_n = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N L_{(x \leq y)}(t(y)), \quad (8)$$

де n – кількість прогнозованих техногенних ризиків; L – розподіл ризиків у просторі й часі.

Перевірку гіпотез здійснюють на основі критерію узгодження (критерії Колмогорова, Крамера та ін.).

У табл.1 наведено функції щільності окремих розподілів. Розподіл події техногенного ризику також добре моделюється відповідним підбором параметрів гамма- та бета-розподілів. Найбільш вірогідна концепція математичного моделювання взаємозалежних техногенних ризиків (ризик-орієнтований підхід) є концепція кореляції.

Табл. 1 – Функції щільності окремих розподілів

№	Розподіл	Поведінка функції щільності при $x \rightarrow \infty$	Похибка, %
1.	Парето	x^{-N}	25–30
2.	Пірсона	$x^3 \exp(-ax)$	10
3.	Вейбулла	$x^{N-1} \exp(-ax^N)$	10–15
4.	Нормальний	$\exp(-x^2/2)$	5–10
5.	Показовий	$\exp(-ax)$	15

На рис. 1 наведено розраховані залежності техногенних ризиків $F(x)$ від різних розподілів подій (δ – середня арифметична похибка).

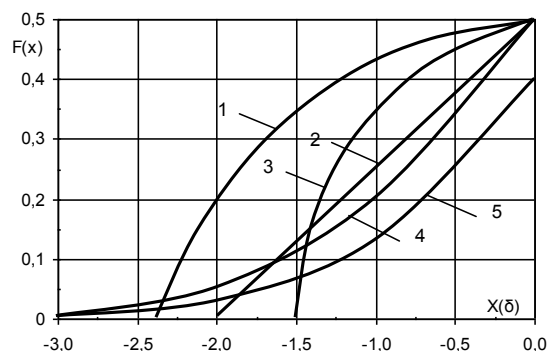


Рис. 1 – Залежності техногенних ризиків $F(x)$ від різних розподілів подій

Примітка. Позначення ліній збігається з нумерацією першої колонки таблиці.

Висновки. Таким чином, вищенаведене свідчить про актуальність даної розробки теоретико-методологічних положень математичного моделювання екологічних ризиків існуючим інструментарієм, їх аналізу та кількісного оцінювання, побудови і дослідження управління техногенним ризикам. Підлягають подальшому дослідженню логіка та інструментарії стохастичного моделювання різних видів ризиків; розгляд топології, класифікації та картографування, питання моделювання асиметрії й концептуальних підходів до величинам ризиків і витрат для покриття непередбачених збитків у несприятливих аварійних ситуаціях і НС.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Національна доповідь ДСНС України про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2014 році.
2. Дані офіційного сайту ДСНС України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.mns.gov.ua>.
3. Український Союз пожежної та техногенної безпеки [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Програма діяльності. – Режим доступу : <http://www.usptb.org>.
4. Тиждень UA [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Техногенні катастрофи в Україні: пожежі, вибухи газу, аварії на залізниці. – Режим доступу : <http://tyzhden.ua>.
5. Генеральная Ассамблея ООН от 25.07.2012 г. (66-я сессия. Пункт 19 повестки дня). Устойчивое развитие. 12-43690(R) 250712. 20–22 июня 2012 г., Бразилия.
6. Farmer F. / Nuclear Safety. – 1967. – Vol. 13. – № 5. – P. 362–364.
7. Надёжность и безопасность сложных систем / сост. И. А. Рябинин. – СПб. : Политехника, 2000. – 248 с.
8. Сидоренко В. Л. Моделювання пожежних і техногенних ризиків при надзвичайних ситуаціях / В. Л. Сидоренко, С. І. Азаров, С. А. Єременко : матеріали науково-технічної конференції «Актуальні проблеми наглядово-профілактичної діяльності МНС України : – 19 грудня 2007 року. – МНС України, УЦЗУ, м. Харків. – С. 55–56.

Стаття надійшла до редакції 06.03.2017

С. И. Азаров, В. Л. Сидоренко, А. С. Задунай

АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

В статье рассматривается содержание этапов развития одного из наиболее важных разделов безопасности потенциально опасных объектов – теории техногенного риска. Описано состояние вопроса с объяснением техногенной безопасности сложных критически важных потенциально опасных объектов. Приведен перечень наиболее перспективных математических методов и моделей количественной оценки техногенного риска. Предложены концептуальные подходы к стохастическому измерению техногенных рисков. Описана сущность рейтингового подхода к моделированию рисков и предложены новые подходы к моделированию их в современной теории надежности нечетких множеств.

Ключевые слова: безопасность, риск, техногенный риск, потенциально опасные объекты, авария, катастрофа.

S. Azarov, V. Sydorenko, O. Zadunay

SAFETY ASSESSMENT OF POTENTIALLY DANGEROUS OBJECTS

The article deals with the contents of steps in development of one of the most significant sections in the theory of complicated technical system's safety, the theory of technogenic risk. There is a description of the question's state with the explanation of technogenic safety in difficult critical of important technical systems. The list of more perspective methods in mathematics and its models of quantity estimation of technogenic risk are proposed.

Keywords: safety, risk, technogenic risk, potentially dangerous objects, accident, catastrophe.

УДК 331.101

В. А. Андронов, д. т. н., професор, проректор

В. М. Стрілець, к. т. н., доцент, доцент каф.

Національний університет цивільного захисту України

вул. Чернишевська, 94, м. Харків, Україна, 61023

ОПЕРАТИВНО-ТЕХНІЧНИЙ МЕТОД СКОРОЧЕННЯ ЧАСУ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ПОЖЕЖНО-РЯТУВАЛЬНИМ ПІДРОЗДІЛОМ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ ЕКОЛОГІЧНОГО ХАРАКТЕРУ З ВИКИДОМ НЕБЕЗПЕЧНОЇ ХІМІЧНОЇ РЕЧОВИНИ

В основу розробленого методу покладено ранжування заданих чинників за результатами аналізу трифакторної поліномної моделі в нормованих змінних, яка відображає залежність часу локалізації надзвичайної ситуації з викидом небезпечної хімічної речовини від параметрів викиду, підготовленості рятувальників і комбінації засобів індивідуального захисту. Розробка оперативно-технічних рекомендацій відбувається у відповідності до максимальних перепадів в однофакторних моделях, що одержані на рівнях, що відповідають координатам екстремумів, а також у центрі факторного простору багатфакторної моделі.

Ключові слова: надзвичайна ситуація екологічного характеру, небезпечна хімічна речовина, аварійно-рятувальні роботи, оперативно-технічні рекомендації.

Постановка проблеми. Ефективне проведення аварійно-рятувальних робіт (АРР) першим пожежно-рятувальним підрозділом (ППРП) під час ліквідації надзвичайних ситуацій з викидами небезпечних хімічних речовин (НС НХР) вимагає розробки комплексу оперативно-технічних заходів, реалізація яких забезпечить скорочення часу ліквідації НС при обмеженнях на людські і технічні ресурси, не знижуючи при цьому рівня безпеки рятувальників. На цей час Україна відійшла від стереотипів СНД, де пожежно-рятувальні підрозділи займаються переважно гасінням пожеж та ліквідацією наслідків дорожньо-транспортних пригод [1–3], і законодавчо встановила [4, 5], що пожежно-рятувальні підрозділи займаються як гасінням пожеж, так і ліквідацією всіх можливих (як це прийнято у розвинутих країнах світу [6–8]), у тому разі техногенних з викидами небезпечних хімічних речовин, надзвичайних ситуацій. В той же час проведення АРР першим ПРП ускладнюється тим, що засоби індивідуального захисту особового складу були розроблені для використання в умовах, які відповідають найгіршим умовам пожежі, тоді як умови в НС НХР можуть бути на 1–2 порядки гірші [9]. Враховуючи це, проблема невідповідності існуючого аварійно-рятувального озброєння в ПРП сучасним завданням, які стоять перед ним стосовно ліквідації техногенних НС НХР, є актуальною і вимагає системних досліджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що процес ліквідації НС НХР є предметом вивчення з різних сторін:

– з позицій розвитку НС ці питання розглядали В. Маршалл [10], О. Є. Басманов [11], В. К. Воробйов [12] та ін.;

– з позицій організації робіт з ліквідації надзвичайної ситуації В. В. Владимиров [13], Є. П. Михно [14], В. Г. Аветисян [15] та ін.;

– загальної теорії профілактики М. М. Брушлинський [16], Ю. М. Глуховенко [17], А. І. Хянікяйнен [18].

Проте у всіх цих випадках вони не розглядали процес ліквідації НС НХР першим ПРП з позицій

забезпечення якості функціонування системи «рятувальник – засоби захисту і ліквідації аварії – НС НХР» (СРЗЗНС).

Так було здійснено в [19], де наведено загальний підхід до розробки оперативно-технічного методу (ОТМ) скорочення часу проведення АРР першим ПРП в умовах техногенних НС, який полягає в розробці оперативно-технічних рекомендацій (ОТР) відповідно до максимальних перепадів в однофакторних моделях, які одержані на рівнях, що відповідають координатам екстремумів, а також у центрі факторного простору багатфакторної поліноміальної моделі. Остання отримується за результатами імітаційного моделювання відповідного процесу, проте його конкретизацію до НС НХР в [19] не було зроблено.

Постановка завдання та його вирішення. У зв'язку з цим необхідно розробити оперативно-технічний метод, який базується на результатах імітаційного моделювання, скорочення часу локалізації першим пожежно-рятувальним підрозділом техногенної надзвичайної ситуації з викидом небезпечної хімічної речовини.

Під час розробки імітаційної моделі, яка стане основою імітаційного експерименту, треба враховувати, що для обґрунтування відповідних ОТР [16] необхідно отримати впорядковану множину показника ефективності (у якості якого можна розглядати час локалізації НС НХР) проведення АРР ПРП у вигляді багатфакторного полінома.

При визначенні останнього необхідно враховувати, що вихідні показники можуть мати нелінійний вплив на показники ефективності проведення АРР ПРП. Так, наприклад, можна очікувати, що підвищення рівня практичної виучки особового складу ПРП буде більш сильно впливати на час ліквідації НС при переході від початкового рівня підготовленості до середнього, ніж від середнього до високого. Аналогічна ситуація має місце й під час порівняння того, як швидко виконуються окремі операції в комплексі засобів індивідуального захисту (КЗІЗ), в яких ізолюючий апарат знаходиться всередині костюма, та коли використовується комбінація, при якій ізолюючий

апарат знаходиться ззовні костюму, або ж особовий склад працює в КЗІЗ, що включають до свого складу фільтрувальні протигazi. Нелінійний вплив факторів в поліноміальній моделі можна врахувати їх квадратичним уявленням.

При цьому є очевидним взаємозв'язок між інтенсивністю викиду НХР і КЗІЗ рятувальників. Крім цього, можна припустити й інші взаємозв'язки між факторами. Наприклад, що підготовленість рятувальників буде більш сильно проявлятися при роботі в більш складних умовах. Ефекти взаємодії в поліномній моделі можуть бути враховані відповідними коефіцієнтами при добутках розглянутих факторів [20].

Таким чином, поліноміальна модель часу виконання (в кодованих змінних) розглянутого процесу проведення АСР при ліквідації аварій з викидом НХР в загальному вигляді може мати вигляд

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + \dots + a_n X_n + a_{11} X_1^2 + \dots + a_{nn} X_n^2 + a_{12} X_1 X_2 + \dots + a_{(n-1)n} X_{n-1} X_n, \quad (1)$$

де X_1, \dots, X_n – обрані для дослідження фактори, які конкретизують вихідні перемінні.

З урахуванням того, що порівняльна оцінка впливу факторів, що обрані для розгляду, мають виконуватись у нормованих перемінних [17], для обґрунтування ОТР необхідно аналізувати тотожний (1) вираз

$$y = b_0 + b_1 x_1 + \dots + b_n x_n + b_{11} x_1^2 + \dots + b_{nn} x_n^2 + b_{12} x_1 x_2 + \dots + b_{(n-1)n} x_{n-1} x_n. \quad (2)$$

При виборі конкретного варіанта проведення АРР першим ПРП було враховано результати аналізу бойової роботи пожежних під час проведення бойового розгортання пожежної техніки [21–23], де було показано, що в результаті достатньо чітко заданої послідовності операцій, які виконує особовий склад, моделювання даного процесу можна представити у вигляді загального (типового) алгоритму. Аналогічна ситуація має місце і в ході реалізації основних процесів, які виконуються в ході АРР з ліквідації НС НХР. Вони також можуть бути подані у вигляді алгоритмів, які стосовно до конкретного розглянутого процесу мають загальну (типову) структуру по відношенню до інших можливих процесів ліквідації НС НХР [24].

Враховувалось, що основними задачами при ліквідації НС НХР є локалізація зони хімічного ураження з одночасною евакуацією людей з небезпечного місця та припинення виходу НХР в навколишнє середовище. При цьому правила пошуку та евакуації постраждалих в цілому (крім того, що, якщо речовина, що вийшла є важчою за повітря, то особливу увагу слід приділяти нижче розташованим поверхам будівель та підвалам,

а також заниженим ділянкам території; якщо речовина легше за повітря, то, відповідно, верхнім) відповідають тим, які ПРП використовують під час гасіння пожеж та ліквідації їх наслідків. Тобто дії особового складу достатньо відпрацьовані. Аналогічна ситуація має місце й під час локалізації осередку НС шляхом зменшення швидкості випарювання за рахунок ізоляції шару НХР у вторинній хмарі за допомогою водяних завес із розпиленних струменів, які встановлюються на шляху розповсюдження хмари, або розпиленням за допомогою димовсмоктувачів [15].

Нейтралізація розлитого НХР за рахунок подання нейтралізуючих речовин може проводитись тільки силами зведеного загону, оскільки ПРП, який першим прибуває до місця НС, не має, згідно з комплектацією пожежного автомобіля необхідної нейтралізуючої речовини.

Ліквідація джерела НС через припинення потрапляння НХР у навколишнє середовище шляхом перекриття засувок на трубопроводах, по яких подається речовина, як правило, виконується фахівцями промисловості, що обслуговують устаткування, дистанційно по відношенню до осередку НС НХР.

В той же час основні операції з відновлення герметичності пошкодження за допомогою бандажів, затискачів тощо, або підготовці до перекачування НХР із пошкодженої ємності в резервні досить сильно співпадають з операціями, які можуть мати місце у випадку локалізації осередку НС методом реконденсації, оскільки у всіх цих випадках передбачається: підготовка обладнання та комплексу засобів індивідуального захисту (виконуються в умовах придатних для дихання і роботи без засобів захисту середовища); робінг (одягання ізолюючого костюма з включенням в засіб індивідуального захисту органів дихання) КЗІЗ; доставка в умовах впливу НХР обладнання, необхідного для проведення АРР поблизу осередку НС; безпосередня ліквідація джерела зараження (або, в залежності від обраного способу, локалізація зони зараження); контроль того, що процес в цілому виконаний.

Враховуючи те, що при локалізації осередку НС методом реконденсації необхідно перенести систему кріплення, настил, піддон та рукав для відводу НХР, підготувати їх та забезпечити сполучення рукава із системою кріплення з подальшим закриттям пробоїни горловиною рукава та здійснити завершальні операції, порядок локалізації ПРП осередку НС НХР методом реконденсації має вигляд, представлений на рис. 1.

Видно, що імітаційна оцінка не може бути здійснена без попереднього визначення параметрів розподілу часу виконання основних підзадач, що витрачаються відповідними номерами розрахунку. Для цього можливе проведення натурних експериментів на існуючих зразках пожежно-рятувальної техніки, яка стоїть на озброєнні в ПРП.

В той же час знання закономірностей виконани основних операцій та наявність порядку проведення ПРП процесу ліквідації НС НХР (рис. 1) дозволяє

перейти до імітаційного моделювання. Видно, що при цьому фактично всі обчислення можуть бути виконаними із застосуванням стандартних під-

програм, що дозволяє процес імітаційного моделювання на структурному рівні (рис. 2) подати у вигляді взаємодії чотирьох основних блоків.

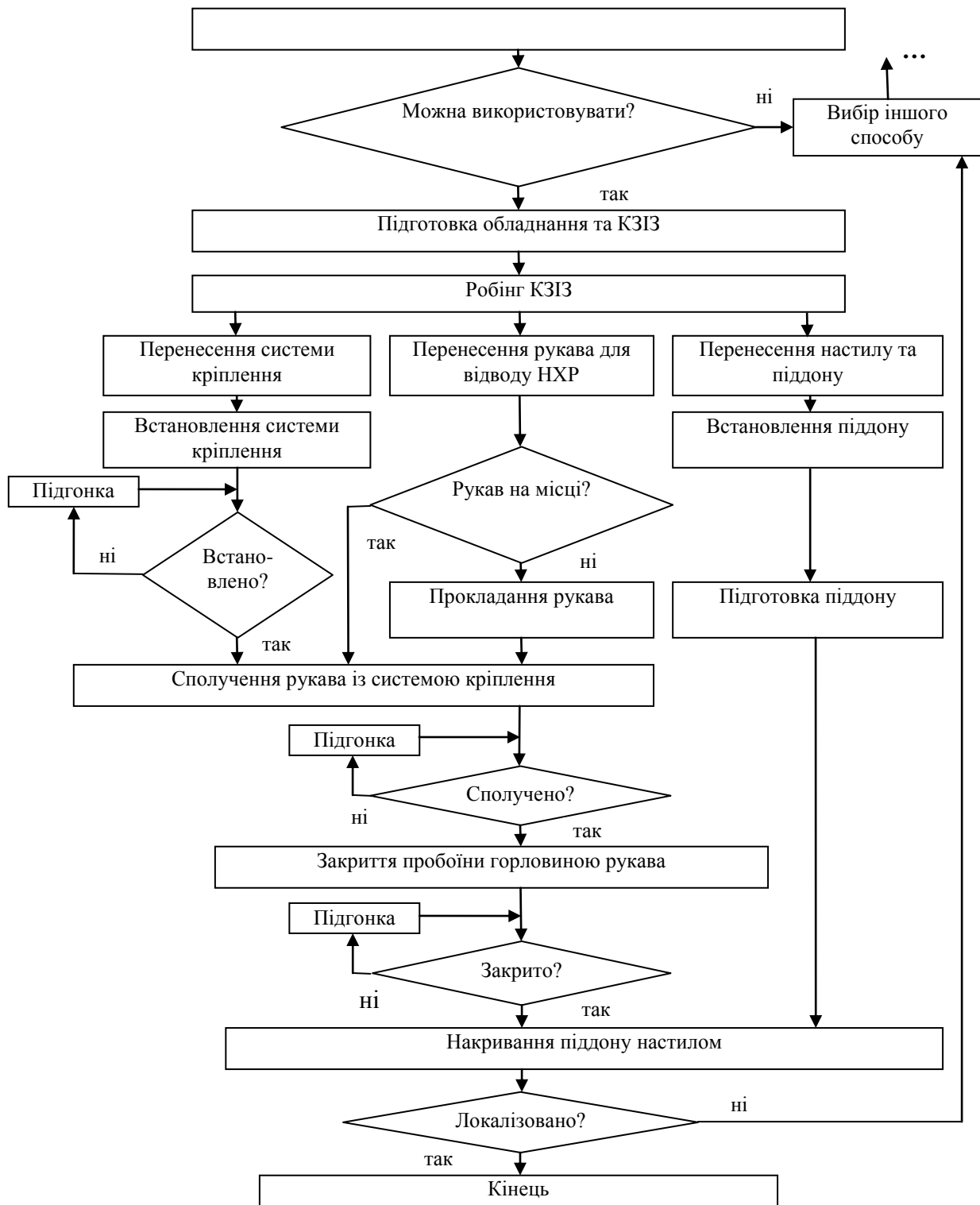


Рис. 1 – Порядок локалізації пожежно-рятувальним підрозділом зони зараження методом реконденсації

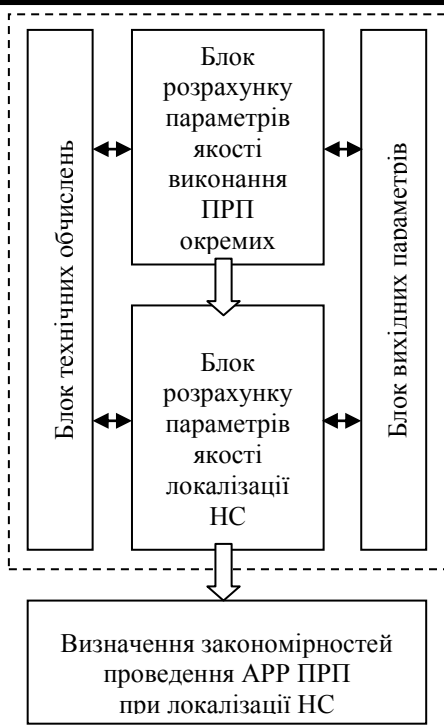


Рис. 2 – Процес імітаційного моделювання проведення АРР ПРП при локалізації НС НХР методом реконденсації на структурному рівні

Блок вихідних параметрів містить відомості про послідовність переходів від однієї операції до іншої відповідно до порядку локалізації НС (рис. 1). Наприклад, момент початку операції по закриттю пробоїни горловиною рукава для відведення НХР визначається максимальним значенням з часів завершення операції по встановленню системи кріплення або операції по прокладці рукава. В цьому блоці містяться також статистичні показники,

що характеризують імовірнісний характер виконання окремих операцій або переходів від однієї операції до іншої у відповідності до обраного плану проведення імітаційного експерименту.

Блок технічних обчислень генерує випадкові числа та здійснює визначення параметрів часу виконання окремих операцій відповідно до закону розподілу, а також оцінку усереднених статистичних показників, які характеризують якість процесу локалізації НС НХР у цілому. Блок розрахунку параметрів якості виконання ПРП окремих операцій локалізації НС НХР методом реконденсації за результатами застосування закономірностей виконання конкретних операцій у відповідності до обраного плану імітаційного експерименту визначає моменти початку та завершення кожної операції. Блок розрахунку параметрів якості локалізації НС НХР здійснює визначення усереднених показників якості виконання (часу виконання) всього процесу локалізації НС НХР в цілому та у відповідності до плану експериментальних досліджень формує масив результатів, який є необхідним для визначення закономірності проведення АРР ПРП при локалізації НС НХР.

Аналіз послідовності локалізації ПРП зони зараження методом реконденсації (рис. 1) показує, що для події, яка не є вихідною, момент її початку визначається за максимальним часом завершення тих операцій, виконання яких є обов'язковою передумовою її здійснення. Тобто, в основу імітаційного моделювання такого виду АРР можна покласти підходи, що застосовуються в мережевому плануванні та управлінні. З урахуванням цього та особливостей імітаційного розкриття закономірностей АРР ПРП (рис. 2), порядок здійснення розрахунку параметрів, які характеризують дії ПРП під час локалізації НС, має вигляд, який наведений на рис. 3.



Рис. 3 – Порядок розрахунку основних параметрів, які характеризують дії особового складу

Тобто, алгоритм імітаційної моделі локалізації ПРП НС НХР уявляє собою адаптацію мережевої моделі, яка реалізує алгоритм роботи пожежних-рятувальників, з урахуванням циклів та імовір-

нісного характеру АРР, що вимагає попереднього визначення параметрів розподілу часу виконання основних операцій.

При відборі основних факторів доцільно враховувати побажання експертів, які залучаються до аналізу закономірності проведення АРР ПРП, не розглядати одночасно більше трьох факторів [25]. Це вони пояснюють тим, що вплив більшої кількості факторів, які впливають на СРЗЗНС оцінити складно, оскільки її стан постійно та достатньо швидко змінюється. З урахуванням цього та результатів аналізу особливостей проведення АРР ПРП, наведених в [26], виділені такі значущі фактори, які характеризують процес ліквідації НС НХР як СРЗЗНС: x_1 – приведена інтенсивність Ψ викиду НХР; x_2 – підготовленість особового складу; x_3 – комбінація засобів індивідуального захисту рятувальників, в якій будуть працювати рятувальники. Крім цього, експерти також вказали на доцільність оцінки впливу обраних факторів, коли вони міняються на двох рівних інтервалах. Це вони пов'язують із незначною протяжністю більшості операцій, які складають загальний процес проведення АРР.

Аналіз відібраних факторів показує, що можна очікувати їх нелінійного впливу на загальний час проведення АРР ПРП при локалізації НС з викидом НХР. Так, стосовно приведеної інтенсивності ψ викиду НХР (x_1) в [27] відмічено, що при

$$\psi = 1 \frac{\text{кг/с}}{\text{мг/м}^3} (x_1 = -1) \text{ всі операції повинні}$$

виконуватись особовим складом в комплексі засобів індивідуального захисту, який передбачає обов'язкову наявність ізолюючого апарату всередині ізолюючого костюма;

$$\psi = 0,1 \frac{\text{кг/с}}{\text{мг/м}^3} (x_1 = 0) \text{ – обов'язкова наявність ізолюючого апарату, який може бути й поверх ізолюючого костюму;}$$

при $\psi = 0,01 \frac{\text{кг/с}}{\text{мг/м}^3} (x_1 = +1)$ – рятувальники можуть бути в фільтрувальних протигазах. Можна передбачати, що фактор x_1 на час проведення АРР буде впливати нелінійно.

В [28] зазначено, що час виконання окремих операцій з рівнем значущості 0,05 описується нормальним законом і, залежно від рівня підготовленості рятувальників змінюється за експоненційним законом. Це свідчить про те, що наявні експериментальні результати можуть бути використані як вихідні під час здійснення імітаційного моделювання. Крім того, їх аналіз дозволяє стверджувати, що рівень практичної виучки буде сильніше позначатися на часі розглянутого процесу при переході від початкового рівня підготовленості ($x_2 = -1$) до середнього ($x_2 = 0$), ніж від середнього до високого ($x_2 = +1$). Аналогічна ситуація має місце і при порівнянні того, як швидко виконуються окремі операції в комплексі засобів індивідуального захисту 1-го типу, коли ізолюючий апарат знаходиться всередині костюма ($x_3 = -1$), в порівнянні з тими, коли використовується комбінація, при якій ізолюючий апарат знаходиться зовні костюма ($x_3 = 0$), або ж особовий склад працює в комбінації ізолюючого костюма з фільтруючим протигазом ($x_3 = +1$).

При цьому є очевидним взаємозв'язок між інтенсивністю викиду НХР та комбінацією засобів індивідуального захисту рятувальників. Крім того, можна передбачити й інші взаємозв'язки між факторами: наприклад, що підготовленість рятувальників більш сильно проявляється під час роботи в більш складних умовах. Тобто математична модель залежності часу локалізації ПРП НС НХР від параметрів викиду, підготовленості рятувальників та комбінації засобів індивідуального захисту, які вимірюються в нормованих оцінках, в загальному вигляді є наступною

$$y(x) = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_2 \cdot x_2 + b_{22} \cdot x_2^2 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + b_3 \cdot x_3 + b_{33} \cdot x_3^2 \quad (3)$$

Виходячи з вищевикладеного, доцільно обрати план імітаційного експерименту $3 \times 3 \times 3$ – традиційний план техніко-економічних експериментів, який використовується при дослідженні впливу окремо кожного з трьох факторів на трьох рівнях (при інших рівних умовах) і має добрі статистичні характеристики та кращі за точністю оцінки всіх коефіцієнтів регресії $\{k_s\}$ [20].

При проведенні багатфакторного імітаційного моделювання у відповідності до обраного плану найгірші показники відповідають рівню “-1-1-1”, середні – рівню “0 0 0”, а найкращі – “+1+1+1”.

Зміна відібраних факторів на трьох рівнях через рівні інтервали дозволяє суттєво спростити побудову поліномних моделей, які необхідно знайти, оскільки в результаті цього під час розрахунку оцінок коефіцієнтів b_0, b_1, b_{ii}, b_{ij} та відповідних значень дисперсій можна використовувати готові формули [20].

Інтерпретацію отриманої моделі (3) доцільно проводити за наростаючого ступеня ризику відвернути правильну гіпотезу. Значущість коефіцієнтів регресії за цим методом перевіряється багатократно від рівня значущості $\alpha = 0,01$ до $\alpha = 0,5$, враховуючи під час оцінки похибок розрахунку коефіцієнтів регресії середню дисперсію вимірів. При кожному рівні ризику будується граф зв'язку між факторами. Найбільш достовірним є висновки, які будуть зробленими по графу, який відповідає рівню значимості $\alpha = 0,01$. За графом, що відповідає рівню значимості $\alpha = 0,5$, робиться обережний «рівно можливий» висновок, який може бути корисним на стадії початку пошукових робіт.

Взявши для аналізу двосторонній ризик $\alpha = 0,1$, оскільки розробка оперативних рекомендацій відноситься до пошукових робіт, можна вилучити незначні ефекти. Це дозволить спростити для аналізу кінцеву модель (3) та перейти до ранжування за максимальним перепадом Δu в однофакторних моделях $y = f_i(x_i)$, що одержані при стабілізації інших факторів x_i на рівнях, що

відповідають координатам екстремумів y_{\min} та y_{\max} , а також у центрі факторного простору [19].

Аналіз ваги коефіцієнтів в однофакторних моделях в центрі факторного простору

$$\begin{aligned} & (x_0^{(1)} \geq x_0^{(2)} \geq \dots \geq x_0^{(n-1)} \geq x_0^{(n)}) = \\ & = \text{rang} \left\{ \begin{array}{c} |b_{y_0(x_1)}| \\ \dots \\ |b_{y_0(x_n)}| \end{array} \right\}, \end{aligned} \quad (4)$$

та на його края

$$\begin{aligned} & (x_{\min(\max)}^{(1)} \geq x_{\min(\max)}^{(2)} \geq \dots \geq x_{\min(\max)}^{(n)}) = \\ & = \text{rang} \left\{ \begin{array}{c} |b_{y_{\min(\max)}(x_1)}| \\ \dots \\ |b_{y_{\min(\max)}(x_n)}| \end{array} \right\}, \end{aligned} \quad (5)$$

дозволить провести ранжування обраних факторів та визначити, який з них є найбільш вагомим та навпаки у кожній зоні. Ці висновки стануть основою конкретних оперативних-технічних рекомендацій,

оскільки обрані фактори характеризують як технічну (фактор x_3), так і оперативну складові: роботу особового складу (людський фактор x_2) ПРП під час ліквідації НС в умовах впливу НХР (фактор навколишнього середовища x_1).

Висновки. Оперативно-технічний метод скорочення часу локалізації пожежно-рятувальним підрозділом надзвичайної ситуації екологічного характеру з викидом небезпечної хімічної речовини полягає в розробці оперативних-технічних рекомендацій відповідно до максимальних перепадів в однофакторних моделях, які одержані на рівнях, що відповідають координатам екстремумів, а також у центрі факторного простору багатофакторної поліномної моделі, отриманої за результатами імітаційного моделювання відповідно до традиційного плану техніко-економічних експериментів $3 \times 3 \times 3$ й такої, що відображає залежність часу локалізації пожежно-рятувальним підрозділом надзвичайної ситуації екологічного характеру від параметрів викиду, підготовленості рятувальників та комбінації засобів індивідуального захисту, які вимірюються в нормованих оцінках.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сведения о чрезвычайных ситуациях, происшедших на территории Российской Федерации за 12 месяцев 2015 года [Электронный ресурс] Режим доступа : http://www.mchs.gov.ru/activities/stats/CHrezvichajnie_situacii/2015_god
2. Сведения о чрезвычайных ситуациях в Республике Беларусь по данным учета МЧС [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://mchs.gov.by/rus/main/ministry/statistics/stat2/~page__m17=1
3. Анализ фактов чрезвычайных ситуаций, происшедших на территории Республики Казахстан [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://yvision.kz/post/14371>.
4. Кодекс цивільного захисту України. Из змінами і доповненнями, внесеними законами України від 14 травня 2013 року № 224-VII, ОВУ, 2013 р., № 44, ст. 1568, від 20 червня 2013 року № 353-VII (зміни, внесені Законом України від 20 червня 2013 року № 353-VII, вводяться в дію з 1 липня 2013 року).
5. Про затвердження Положення про Оперативно-рятувальну службу цивільного захисту Державної служби України з надзвичайних ситуацій : наказ МВС України № 631 від 03.07.2014. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 23 липня 2014 р. за № 835/25630.
6. Federal Emergency Management Agency [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.fema.gov/about-agency>
7. Гражданская оборона ФРГ [Электронный ресурс]. – Зарубежное военное обозрение. – 2015. – Режим доступа : <http://www.zvo.su/voennaya-ekonomika/grazhdanskaya-oborona-frg.html>
8. Fire Service in Japan [Электронный ресурс] – Режим доступа : http://www.kaigai-shobo.jp/pdf/Fire_Service_jpn.pdf
9. Кузьменко В. А. Аналіз можливостей використання ізолюючих апаратів під час ліквідації аварій на об'єктах із сильнодіючими отруйними речовинами / В. А. Кузьменко, Л. Л. Михальська, С. М. Щербак // Проблемы пожарной безопасности : сб. науч. тр. АПБ Украины.– Харьков : Фолио, 2002. – Вып.12. – С.162-169.
10. Маршалл В. Основные опасности химических производств. – М. : Мир, 1989. – 671 с.
11. Басманов А. Е. Математическая модель диффузии опасных химических веществ в воздухе / А. Е. Басманов, С. С. Говаленков // Проблемы надзвичайних ситуацій –Харків, Фолио, 2008 – № 8. – С.29-39.
12. Воробьев В. К. Сильнодействующие ядовитые вещества. Ликвидация аварий и тушение пожаров / В. К. Воробьев, А. В. Врублевский. – Минск : ВИПТУ МВД РБ, 1997. – 197 с.
13. Методические рекомендации по ликвидации последствий радиационных и химических аварий / [Владимиров В. А., Лукьянченков А. Г., Павлов К. Н. и др.] ; под ред. В. А. Владимирова. – М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС, 2004. – 340 с.
14. Михно Е. П. Ликвидация последствий аварий и стихийных бедствий / Михно Е. П. – М. : Атомиздат, 1979. – 412 с.
15. Рятувальні роботи при надзвичайних ситуаціях: навч. пос. Ч.1 / [Аветисян В. Г., Сенчихін Ю. М., Тригуб В. В. та ін.] – К : Основа, 2006. – 360 с.
16. Брушлинский Н. Н. Системный анализ деятельности Государственной противопожарной службы : учебник / Брушлинский Н. Н. – М.: МИПБ МВД России, 1998. – 255 с.

17. Глуховенко Ю. М. Разработка методов совершенствования организационной структуры противопожарной и аварийно-спасательной службы: дис... канд. техн. наук : специальность 21.06.02 / Глуховенко Юрий Михайлович – М. : ВИПШТ, 1992. – 145 с.
18. Аветисян В. Г. Тушение пожаров и выполнение спасательных работ при химических заражениях / В. Г. Аветисян, А. И. Хяникяйнен. – Харьков: ХИПБ МВД Украины, 1998. – 123 с.
19. Стрелец В. М. Розробка оперативно-технічного методу скорочення часу проведення аварійно-рятувальних робіт першим пожежно-рятувальним підрозділом в умовах техногенних надзвичайних ситуацій / В. М. Стрелец // Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист. – 2016. – № 11. – С.26–36.
20. Вознесенский В. А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / В. А. Вознесенский. – М. : Финансы и статистика, 1981. – 263 с.
21. Чучковский В. Н. Особенности прогнозирования результатов деятельности боевых расчетов пожарных автомобилей / В. Н. Чучковский, В. М. Стрелец // Проблемы пожарной безопасности : сб. науч. тр. – 1997. – Вып. 2. – С.156–159.
22. Стрелец В. М. Упрощенная оценка времени выполнения развертывания пожарно-технического вооружения / В. М. Стрелец // Информатика : сб. науч. пр. – Вып.7. – К., Наук. Думка, 1999. – С.50–54.
23. Стрелец В. М. Имитационное моделирование аварийно-спасательных работ, проводимых в процессе извлечения пострадавшего из-под завала / В. М. Стрелец, В. Г. Аветисян // Системи обробки інформації : зб. наук. пр. НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – Вып.2(6). – X., 1999. – С.78–82.
24. Васильев М. В. Представление исходных данных для имитационного моделирования процесса ликвидации чрезвычайных ситуаций с выбросом опасного химического вещества / М. В. Васильев, В. М. Стрелец // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2011. – № 14. – С.53–64. – Режим доступа : <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol14/Vasilev.pdf>.
25. Стрелец В. М. Имитационное моделирование работы звена газодымозащитной службы пожарной охраны / В. М. Стрелец // Системи обробки інформації: зб. наук. пр. НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – Вып.1(5). – X., 1999. – С.158–161.
26. Васильев М. В. Аналіз герметичності комплексу засобів індивідуального захисту першого типу / М. В. Васильев, В. М. Стрелец, В. В. Коврегін // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2010. – № 11. – С.29–38.
27. Басманов А. Е. Зонирование местности в районе непрерывно действующего источника опасного химического вещества [Электронный ресурс] / А. Е. Басманов, М. В. Васильев, С. С. Говаленков // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2011. – № 13 – С.20–33. – Режим доступа : <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol13/Basmanov.pdf>.
28. Стрелец В. М. Раскрытие закономерностей деятельности спасателей при выполнении основных операций в процессе ликвидации аварий с выбросом опасных химических веществ / В. М. Стрелец, М. В. Васильев // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2013. – № 2. – С. 81–86.

Стаття надійшла до редакції 03.03.2017

В. А. Андронов, В. М. Стрелец

ОПЕРАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ МЕТОД СОКРАЩЕНИЯ ВРЕМЕНИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫМ ПОДРАЗДЕЛЕНИЕМ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ХАРАКТЕРА С ВЫБРОСОМ ОПАСНОГО ХИМИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА

В основу разработанного метода положено ранжирование заданных показателей в результате анализа трехфакторной полиномиальной модели в нормированных переменных, которая отображает зависимость времени локализации чрезвычайной ситуации с выбросом опасного химического вещества от параметров выброса, подготовленности спасателей и комбинации средств индивидуальной защиты. Разработка оперативно-технических рекомендаций происходит в соответствии с максимальными перепадами в однофакторных моделях, полученных на уровнях, которые соответствуют координатам экстремумов, а также в центре факторного пространства многофакторной модели.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация экологического характера, опасное химическое вещество, аварийно-спасательные работы, оперативно-технические рекомендации.

V. Andronov, V. Strelec

OPERATIONAL-TECHNICAL METHOD OF TIME REDUCING OF LOCALIZATION BY FIRE AND RESCUE DEPARTMENT OF EMERGENCY SITUATION OF ECOLOGICAL CHARACTER WITH HAZARDOUS CHEMICAL EMISSION

In the basis of the method developed is the ranking of the indicators according to the analysis of the three-factor polynomial model of normalized variables which shows the dependence of the time of an emergency situation localization with the emission of a hazardous chemical to the parameters of the emission, preparedness of the rescuers and the combination of personal protective equipment. The development of operational and technical advice is in accordance with the maximum difference of the one-factor models produced at levels that correspond to the coordinates of the extreme, as well as in the center of the factor space of multifactor model.

Keywords: emergency situation of ecological character, hazardous chemical, rescue work, operational and technical advice.

УДК 504.062+620.194:620.197

С. Д. Цыбуля, д. т. н., доцент, директор учебн.-науч. инстит.

Черниговский национальный технологический университет
ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, Украина, 14027

В. Г. Старчак, д. т. н., профессор, профессор каф.

Черниговский национальный педагогический университет им. Т. Г. Шевченко
ул. Г.Полуботка, 53, г. Чернигов, 14013

К. Н. Иваненко, к. т. н., доцент каф.

Н. П. Буяльская, к. т. н., доцент, доцент каф.

Черниговский национальный технологический университет
ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, Украина, 14027

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СРЕДЫ НА ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Приведены результаты совместного влияния техногенного ингредиентного (тяжелые металлы – ТМ) и энергетического загрязнения (электромагнитные поля – ЭМП) природных (поверхностные воды, грунт) и технологических сред (сточные воды и др.) на эксплуатационную надежность и экологическую безопасность металлоконструкций экологически опасных производств. Показано, что негативное воздействие ТМ, ЭМП можно значительно уменьшить усовершенствованием технологических процессов и эффективными полифункциональными синергичными защитными композициями.

Ключевые слова: техногенное загрязнение среды, тяжелые металлы, электромагнитные поля, усовершенствование технологических процессов, защитные композиции.

Постановка проблемы. Накопление тяжелых металлов (ТМ) в техноприродных системах (вследствие производственных выбросов, сбросов, захоронения отходов) приводит не только к ухудшению качества атмосферного воздуха, поверхностных, морских вод, деградации грунта, к негативному действию на биоту, но и к повышению риска техногенных аварий на подземных, наземных, подводных технических сооружениях. Этому способствует и усиливающееся энергетическое загрязнение среды, в частности электромагнитными полями. Это связано с их активирующим влиянием на разрушение металлоконструкций, особенно в условиях циклического нагружения. Технологические (прямые, косвенные), организационно-технические методы защиты окружающей среды позволяют предотвратить громадный экологический ущерб, повысить уровень техногенно-экологической безопасности как фактор экологизации экономики [1–3].

Анализ последних исследований и публикаций. Несмотря на чрезвычайную важность указанной проблемы, литературные сведения о влиянии ТМ, ЭМП на коррозионно-механические разрушения (ответственные за техногенные аварии) весьма ограничены [4, 6–10]. Поэтому с 1990 г. научно-техническая проблема «Техногенное загрязнение среды – экологическая безопасность эксплуатации металлоконструкций» стала базовой для Черниговской школы коррозионистов-экологов (научный руководитель – д. т. н., проф. В. Г. Старчак) [11–15].

В фундаментальной работе [16] приведены сравнительные данные массовых потерь металла в сульфатных и хлоридных средах с различными катионами (NH_4^+ , Na^+ – в SO_4^{2-} -среде и Ba^{2+} , Li^+ , K^+ – в Cl^- – растворе): Δm , г/м²; $\text{NH}_4^+ \gg \text{Na}^+$; $\text{NH}_4^+ > \text{Ba}^{2+} > \text{Li}^+ > \text{K}^+$. Влияние катионно-анионного состава среды рассматривается и в работах [17–23].

Автор [24] показал совместное влияние катионов (Fe^{3+} , Cu^{2+}), анионов (Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^-) на агрессивность среды для конструкционных (Ст 20, 45) и электротехнических сталей (Э45, Э310), и установил функциональную зависимость коррозионной стойкости стали от параметров ЭМП (E , В/м; H , А/м; f , Гц). В [25] показано влияние ЭМП, режима сварки на стойкость стали 09Г2ФБ в разных рабочих средах. Поскольку одним из важнейших технологических процессов для всех отраслей промышленности являются сварочные процессы, представляет значительный научно-технический интерес изучить влияние техногенного загрязнения, в т.ч. ЭМП, на коррозионную стойкость сварных соединений низколегированных сталей и их работоспособность (выносливость) в условиях малоциклового нагружения.

Постановка задачи и ее решение. Цель и основная задача данной работы – повышение уровня эксплуатационной надежности, экологической безопасности металлоконструкций, сварных соединений в поверхностных водах, технологических средах, грунте, в условиях их техногенного загрязнения – усовершенствованием технологических процессов.

Исследования проведены на сварных соединениях низколегированных сталей 09Г2ФБ, 16ГФР, 15Г2АФЮ, 17Г1С и др., в поверхностных водах (реки г. Чернигова: Десна, Белоус), сточных водах, грунте, с загрязнением 6...8 ингредиентами (с учетом содержания катионов, анионов ТМ и др.), при воздействии ЭМП ($E = 100$ В/м, $H = 15$ А/м; $f = 100$ кГц). Уровни экодеструктивного техногенного влияния ингредиентного загрязнения (Cu, Zn, Cd, Pb, Cr, Ni и др.) на металлоконструкции характеризовали [13–15, 26–28] суммарным показателем – Z_c (грунт), ИЗВ (индекс загрязнение воды), а технологическую

эффективность способов повышения уровня техногенно-экологической безопасности – коэффициентом γ_T , как характеристикой уменьшения уровня техногенного загрязнения очисткой среды, а также повышения уровня экобезопасности металлоконструкций и их эксплуатационной надежности – увеличением стойкости сварных соединений, за K_{II} , мм/год (ГОСТ 13819), и выносливости, по показателям малоциклового усталости стали – МЦУ, в циклах до разрушения N (машина ИП-2) [4].

Усовершенствование сварочных процессов – заменой ручной дуговой сварки (РДС) на автоматическую (АДС) – обеспечило минимизацию загрязнения грунта сварочным аэрозолем более чем в 20 раз, оксидов ТМ (Mn, Cr, Ni, Cu, Fe) – более чем в 40 раз. Суммарный показатель загрязнения грунта Z_C снижается более чем в 14 раз.

Режим сварки стали 16ГФР с объемным термоупрочнением (а) – ОТУ, обеспечивает коэффициент технологической эффективности (по K_{II}) $\gamma_T = 5.1$ (для стали 16ГФР). При режиме сварки с охлаждением стали 09Г2ФБ $\gamma_T = 3.0$, но он неэффективен ($\gamma_T < 1$) для стали 15Г2АФЮ (рис. 1). Влияние режима сварки на МЦУ сварных соединений в различных средах показан на рис. 2, табл. 1.

Табл. 1 – Коэффициенты γ_T (а/б) б – без ОТУ, охлаждения

Сталь	Среды					
	I	II	III	IV	V	VI
09Г2ФБ	1.47	1.23	1.61	1.62	1.52	1.68
16ГФР	1.73	2.27	1.89	2.00	2.19	2.17
15Г2АФЮ	1.18	0.76	0.93	0.95	0.94	0.91

^х I – воздух, II – H₂SO₄+H₂S, III – 3 % NaCl, IV – сточные воды (ИЗВ = 7.51, «очень грязная вода»), V – NACE, VI – 3 % NaCl + $i_K = 0.1$ А/см².

Оптимальный режим сварки (с ОТУ) подтверждается данными табл. 1, рис. 1, 2. Вместе с тем, для 15Г2АФЮ режим с охлаждением и здесь неэффективен ($\gamma_T < 1$) – табл. 1. Режим сварки с ОТУ стали 16ГФР сохраняет свою оптимальность и при статическом нагружении, по показателям торможения коррозионного растрескивания (γ_T) в активных наводороживающих средах (II, V, VI): $\gamma_T = 1.9...2.1$.

Технологическая эффективность обеспечивается и на наиболее опасных зонах сварных швов (СШ, ЗТВ – зона термического влияния), а также на основном металле – ОМ (табл. 2, рис. 3).

В HCl + H₂S, рН0 исследовано влияние ЭМП на i_C , i_K и i_A (катодный, анодный токи): электрическая составляющая ЭМП (ЭП) повышает стойкость СС в 1.1...2 раза за счет катодного эффекта (γ_T по i_K максимальный – 6.6, что в 2 раза выше, чем по i_A). Магнитное поле (МП) снижает стойкость стали в 1.6...1.9 раза (против стойкости – без ЭМП). При этом режим «б» (без ОТУ, сталь 16ГФР) более чувствителен к ЭМП, особенно по i_K : i_K по режиму «б» в 10 раз больше, чем по «а». Поэтому γ_T при действии МП составляет: 3.6 (по i_A), 10 (по i_K), 5.7 (по i_C).

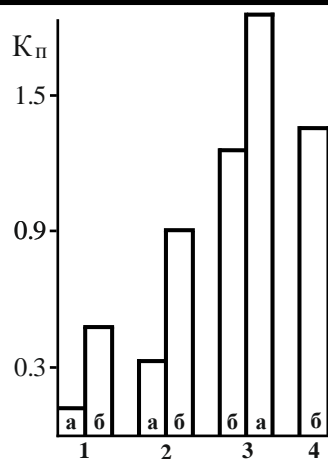


Рис. 1 – Влияние режима сварки на K_{II} (мм/год) сварных соединений в грунте ($Z_C = 61$, III категория опасности – опасная, ДСанПІН 2.2.7.029-99), 1 – 16ГФР, 2 – 09Г2ФБ, 3 – 15Г2АФЮ, 4 – 17Г1С (а – с ОТУ, охл., б – без них)

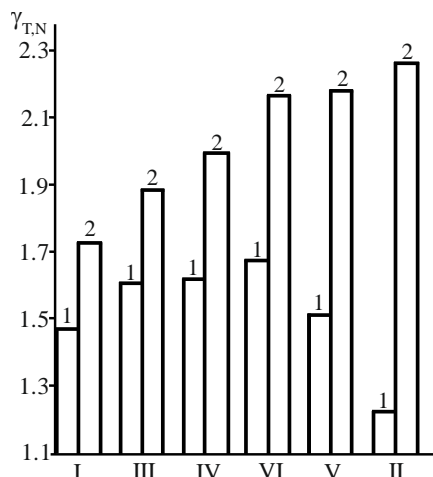


Рис. 2 – Коэффициенты γ_{TN} (по МЦУ) 1 – 09Г2ФБ, 2 – 16ГФР, среды I-VI – по табл. 1

Табл. 2 – γ_T режимов сварки на отдельных зонах сварных соединений (СС): ЗТВ, СШ, ОМ, в различных средах, по току коррозии i_C (А/м²), сталь 16ГФР

Зоны	Среды				
	II	IV	V	VII	VIII
ЗТВ	1.81	2.81	1.89	2.63	2.54
СШ	1.77	1.63	1.71	1.62	1.56
ОМ	2.86	2.33	2.84	2.29	2.40

^х II – H₂SO₄+H₂S(pH0), IV – сточные воды (ИЗВ=7.51), V – NACE, VII –HCl, pH1, VIII – р. Белоус (ИЗВ=5.99, «грязная вода»).

Исследовано усовершенствование универсального технологического метода повышения экобезопасности металлоконструкций синергичными защитными композициями (СЗК) на вторичном сырье, с утилизацией региональных отходов. Выбор синергистов (синергичных добавок – СД) проведен компьютерным моделированием их электронных и термодинамических параметров (MNDO-PM3). Универсальность этого метода заключается в том, что СЗК не только обуславливают надежную защиту от

разрушения металлоконструкций (модификацией поверхности металла металлохелатированием), но и понижение содержания ТМ в грунте, сточных водах (за счет перехода их из лабильной формы в нелабильную – нерастворимые металлохелатные комплексы).

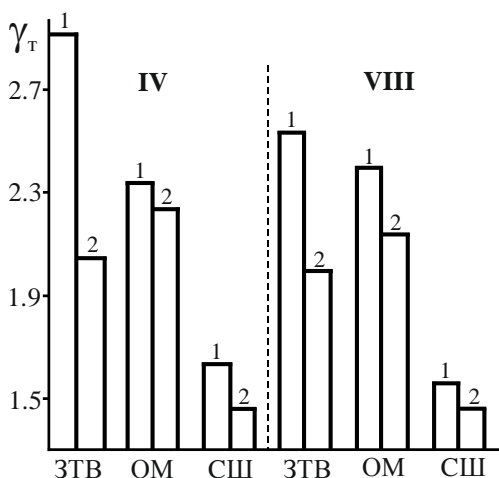


Рис. 3 – γ_T режимов сварки (по i_C): 1 – 16ГФР, 2 – 09Г2ФБ, IV – сточные воды, VIII – речная вода (р. Белоус)

Добавка в СЗК цеолита (активный полярный адсорбент) обеспечивает адсорбцию металлохелатов, а ионный обмен дополнительно освобождает среду от свободных агрессивных катионов ТМ. Так, СЗК повышает γ_T (по i_C) на сварных соединениях стали 16ГФР (а) в 2.9...3.9 раза (табл. 3).

Табл. 3 – γ_T с СЗК (по i_C)

Зоны СС	Среда	
	IV	VII
ЗТВ	3.93	3.81
СШ	2.93	3.12
ОМ	3.73	3.36

В табл. 4 показана техническая и экологическая эффективность защиты с СЗК.

Как видно из табл. 4, техническая эффективность составляет: по общей коррозии (Z) 10.2...21.7, по МЦУ (K) – 8.8...12.2, по K_{II} – 8.5...11.4. Экологическая эффективность: по суммарному индексу токсичности K_{Σ} =10.5, СЗК – IV класс опасности веществ (малоопасные материалы), по Z_C – γ_T =5.2, по ИЗВ – 5.4...6.1.

Экологическая эффективность подтверждается и в сравнении с известными защитными композициями: ЧФ (III класс – умеренно опасные), ХОСП-10 (II класс – высокоопасные).

Табл. 4 – γ_T с СЗК на стали 20

Среда	Техническая и экологическая эффективность					
	по Z, %	по K, %	по K_{II} , мм/год	K_{Σ}	по Z_C	по ИЗВ
I	21.7	12.2	11.4	10.5, IV кл. опасн.	-	5.4
II	13.3	9.2	8.5		-	-
III	10.2	8.8	9.1		5.2	6.1

^{x/} I – р. Белоус (ИЗВ=6), II – HCl, pH0, III – грунт, грунтовая вытяжка ($Z_C=130$).

Совместное влияние ингредиентного и энергетического загрязнения (ЭМП) на эффективность защиты по γ_T показано в табл. 5.

Табл. 5 – γ_T на стали 16ГФР (а) в HCl, pH0 (по γ_C)

Проба	ЭМП		
	1	2	3
I	34.5	50.0	10.8
II	11.2	21.7	3.1

^{x/} I – на дистиллированной воде, II – на загрязненной (ИЗВ=6). 1 – без ЭМП, 2 – в ЭП, 3 – в МП ($f=50$ кГц, $E=150$ В/м (3 ГДР), $H=15$ А/м (3 ГДР)).

ЭП повышает γ_T в 1.4 раза в «I», и в 1.9 раз в «II»; МП понижает γ_T в 3.2...3.6 раза против γ_C без ЭМП. Загрязненная вода снижает γ_T в 2.5...3.5 раза по сравнению с чистой HCl (на дистиллате).

Выводы. Усовершенствование техпроцесса сварки: применение рационального метода – автоматической дуговой сварки (с объемным термозащитным покрытием) – обеспечивает надежную эксплуатацию и повышение уровня экологической безопасности металлоконструкций, при действии техногенного загрязнения, в природных и технологических средах.

Усовершенствование синергичных защитных композиций: выбор компьютерным моделированием полифункциональных синергистов, обеспечивающих активное металлохелатирование, высокую технологическую и экологическую эффективность защиты, очистку грунта, сточных вод от тяжелых металлов, с уменьшением риска техногенных аварий технических сооружений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Давыдова С. Л. Тяжелые металлы как супертоксиканты XXI века / С. Л. Давыдова, В. И. Тагасов. – М. : РУДН, 2002. – 140 с.
2. Мельник Л. Г. Екологічна економіка / Л. Г. Мельник. – Суми : Університет. книга, 2002. – 346 с.
3. Шмандій В. М. Екологічна безпека / В. М. Шмандій, В. Ю. Некос. – Х. : ХНУ ім. В. Каразіна, 2008. – 436 с.
4. Сучасне матеріалознавство XXI ст. / Відп. редактор акад. НАНУ І. К. Походня. – К. : Наук. думка, 1998. – 658 с.
5. Сидоренко С. Н. Коррозия металлов и вопросы экологической безопасности магистральных трубопроводов / С. Н. Сидоренко, Н. А. Черных. – М. : РУДН, 2002. – 83 с.
6. Семенова И. В. Коррозия и защита от коррозии / И. В. Семенова, Г. М. Флорианович, А. В. Хорошилов. – М. : Физ.-мат. лит., 2002. – 336 с.
7. Хімічні основи корозії конструкційних матеріалів / С. І. Козак, М. Г. Котур, М. В. Никипанчук [та ін.]. – Львів: Ліга Прес, 2001. – 240 с.

8. Белов С. В. Охрана окружающей среды / С. В. Белов. – М. : ИНФРА, 2006. – 425 с.
9. Чвірук В. П. Електрохімічний моніторинг техногенних середовищ /В.П. Чвірук, С. Г. Поляков, Ю. С. Герасименко. – К. : Академперіодика, 2007. – 322 с.
10. Сафранов Т. А. Загальна екологія та неоекологія / Т. А. Сафранов. – К. : КНТ, 2005. – 188 с.
11. Г/д НДР №53-171-01 «Обстеження стану впливу агресивного середовища на обладнання і трубопроводи очисних споруд заводу і методи захисту від нього». Замовник – Гнідинцівський завод з переробки газу, стабілізації нафти (1991).
12. Г/д НДР №378/973 «Дослідження екологічної ситуації при впливі корозійного середовища на очисні споруди РДХП «Азот» і вибір способу зменшення екологічного збитку». Замовник РДХП «Азот» (1994).
13. Д/б НДР №44/96 «Фізико-хімічні основи вибору захисних композицій (на вторинній сировині)». № ДР 0196U003326 (1996-1999).
14. Д/б НДР №58/02 «Фізико-хімічні основи техногенної безпеки експлуатації металоконструкцій в екологічно небезпечних середовищах». № ДР 0102U000702.
15. НДР №06/07 «Техногенна безпека як основа сталого розвитку України». № ДР 0109U001296.
16. Улиг П. Г. Коррозия и борьба с ней. Введение в коррозионную науку и технику / П. Г. Улиг, Р. У. Рева ; под ред. А. М. Сухотина. – Л. : Химия, 1989. – 450 с.
17. Ogudell G. I. The effect of cation on the corrosion of carbon and stainless steels in differing chloride environments // Corrosion (USA). – 1989. – 45, № 12. – P. 981–984.
18. Gehring George A. Seawater corrosion // Mater. Perform. – 1987. – V. 26, № 9. – P. 9–11.
19. Me Magin C.J. Mechanisms of intergranular fracture in alloy steels //Mater. Charact. – 1991. – V. 26, № 4. – P. 296–287.
20. Lesink G., Szata M. Aspects of structural degradation in steels of old bridges by means of fatigue crack propagation // Mater. Sci. – 2011. – V. 47, № 1. – P. 82–88.
21. Christopher D. Taylor. Atomistic Modeling of Corrosion Events at the Interface between a Metal and Its Environment // Intern. Jour. of Corrosion. – 2012. – V. 2012, ID 204640, 13 p.
22. Stampfl C., Ganduglia-Pirovano V., Reuter K., Scheffler M. Catalysis and corrosion: the theoretical Surface-science context // Surface Sci. – 2002. – V. 500. – P. 368–394.
23. Оцінка деградації сталей обладнання нафтопереробних і хімічних виробництв /О. Г. Архипов, О. В. Зінченко, Д. О. Ковальов [та ін.] // Металеві конструкції. – 2009. – Т. 15, №2. – С. 117–122.
24. Костенко І. А. Протикорозійний захист сталі від матеріальних та енергетичних забруднень: автореф. дис. на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук: 05.17.14 / Національний технічний ун-т України «Київський політехнічний ін-т». – К., 2001. – 22 с.
25. Іваненко К.М. Науково-технічне забезпечення техногенної безпеки зварних конструкцій екологічно небезпечних виробництв: автореф. дис. на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук: 21.06.01 / Держ. екол. ін-т Мін. охорони навколиш. природ. середовища України. – К., 2007. – 21 с.
26. Вплив екологічної ситуації на протикорозійний захист металоконструкцій / В. Г. Старчак, С. Д. Цибуля, Н. П. Буяльська [та ін.] //Фіз.-хім. механіка матер. Спецвип. – 2012. – Т. 2, № 9. – С. 767–772.
27. Цибуля С. Д. Комплексне забезпечення екологічної безпеки трубопровідного транспорту / С. Д. Цибуля // Фіз.-хім. механіка матер. – 2012. – Спецвип. № 9. – Т. 2. – С. 767–772.
28. Пат. 66437 Україна, МПК (2011.01), С23F 11/00, А 01В 79/00. Композиція для зменшення забруднення ґрунту важкими металами як небезпечними екологічно-корозійними агентами / Старчак В. Г, Цибуля С. Д., Пушкарьова І. Д., Мачульський Г. М. – № u 201103550 ; заявл. 25.03.2011 ; опубл. 10.01.2012, Бюл. № 1. – 8 с.

Стаття постуила в редакцію 07.03.2017

С. Д. Цибуля, В. Г. Старчак, К. М. Іваненко, Н. П. Буяльська
ВПЛИВ ТЕХНОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ СЕРЕДОВИЩА НА ЕКОЛОГІЧНУ БЕЗПЕКУ
ТЕХНІЧНИХ СПОРУД

Наведено результати сумісного впливу техногенного інгредієнтного (важкі метали – ВМ) та енергетичного забруднення (електромагнітні поля – ЕМП) природних (поверхневі води, ґрунт) і технологічних середовищ (стічні води та ін.) на експлуатаційну надійність та екологічну безпеку металоконструкцій екологічно небезпечних виробництв. Показано, що негативну дію ВМ, ЕМП можна значно знизити удосконаленням технологічних процесів і ефективними поліфункціональними синергічними захисними композиціями.

Ключові слова: техногенне забруднення середовища, важкі метали, електромагнітні поля, удосконалення технологічних процесів, захисні композиції.

S. Tsybulia, V. Starchak, K. Ivanenko, N. Bujalska
INFLUENCE OF TECHNOGENOUS CONTAMINATION MEDIUM ON ECOLOGICAL SAFETY OF
TECHNICAL CONSTRUCTIONS

The results of the joint influence of technogenic (ingredient – heavy metals (HM) and energetic (EMF)) contamination of the natural (the surface water, soil) and technological mediums (the drainage water, etc.) on the operational reliability and ecological safety of steel constructions of the ecologically dangerous production have been adduced in this work. It is shown that the negative influence of HM, EMF can be decreased considerably by the improving of the technological processes and by the efficient multifunctional synergetic protection compositions.

Keywords: technogenic contamination of medium, heavy metals, EMF, improving of technological processes, protection compositions.

УДК 504.064.3

В. С. Бахарєв, к. т. н., доцент

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського,
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна

ФОРМУВАННЯ КОНЦЕПЦІЇ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ НА МУНІЦИПАЛЬНОМУ РІВНІ

Проаналізовано аспекти формування концепції екологічного моніторингу атмосферного повітря на муніципальному рівні. Запропоновано базову схему побудови концепції. Зазначено, що концепція повинна базуватись на антропоцентричному підході. На прикладі нерозв'язаних питань екологічного моніторингу атмосферного повітря в урбосистемі міста Кременчук (Україна) конкретизовано складові концепції з виділенням цілей, задач, статичних результатів та динамічних індикаторів реалізації концепції. Проаналізовано недоліки існуючих інформаційних сайтів системи моніторингу на рівні урбосистеми. Запропоновано теоретичний базис для побудови інформаційних сайтів та вимоги до структури інформаційного сайту як частини інформаційно-аналітичної системи екологічного моніторингу атмосферного повітря урбосистеми. Запропонована структура публічної частини інформаційно-аналітичної системи дозволить повноцінно використати потужності Web-ресурсів для розв'язання задач підвищення рівня екологічної безпеки на муніципальному рівні.

Ключові слова: концепція, екологічний моніторинг, атмосферне повітря, урбосистема, система моніторингу, муніципальний рівень.

Постановка проблеми. На сьогодні на рівні державного управління, в умовах євроінтеграції та реформування [1] моніторинг якості атмосферного повітря фактично здійснює лише Державна гідрометеорологічна служба (Держгідромет). У таких умовах муніципалітети (особливо техногенно навантажених міст) залишаються наодинці у процесі розв'язання завдань контролю якості атмосферного повітря у частині відповідальності перед громадою населеного пункту за якість компонентів довкілля урбосистеми. В таких умовах актуальним стає завдання методологічного та методичного забезпечення організації систем муніципального екологічного моніторингу атмосферного повітря їх інтеграцією в державну систему моніторингу довкілля. Варто зазначити, що державна система моніторингу атмосферного повітря має дещо відмінні акценти на виконанні першочергових власних базових завдань. Так, державна система послуговується масивом статистичної інформації, результатом аналізу якої є оцінювання стану атмосферного повітря в цілому в країні з ранжуванням найбільш несприятливих місць за чисельними значеннями статистичних індексів. Між тим для виконання завдань системою муніципального моніторингу основою є оцінювання поточної локальної ситуації (на основі разових значень концентрацій забруднюючих речовин), що виникає в межах зон сельбищної забудови конкретної урбосистеми. Для цього вкрай необхідним заходом є побудова муніципальної інформаційно-аналітичної системи моніторингу з можливістю негайного сповіщення громади муніципалітету як про поточний стан, так і про можливі різкі його зміни. Отже для врахування цих розбіжностей на етапі організації муніципальної системи має бути сформовано концепцію екологічного моніторингу атмосферного повітря.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Вихідним етапом формування концепції має бути аналіз недоліків діючої системи моніторингу. Недоліки в системі спостережень Держгідромету висвітлено та проаналізовано в [2], де, зокрема, зазначено наступні:

- визначення кількості та місць розташування постів спостережень здійснюється безапеляційно на підставі застарілого документа [3] залежно від чисельності населення та з орієнтацією на збір інформації щодо впливу конкретних джерел забруднення довкілля з розташуванням стаціонарних постів у безпосередній близькості від об'єктів впливу;

- програма спостережень обґрунтована відомчими інструкціями [4] та можливістю існуючої технічної бази здійснення вимірювань залишає промисловим об'єктам значний проміжок часу для інтенсифікації процесів, наслідком реалізації яких можуть бути значні рівні забруднення, а також може спричинити труднощі при аналізі великих масивів даних, визначенні кореляційних залежностей та подальшому прогнозуванні стану забруднення атмосферного повітря;

- оцінювання впливу фізичних чинників формування екологічної небезпеки забруднення атмосферного повітря – просто не здійснюється внаслідок значної динаміки рівнів забруднення та недоцільності фіксації параметрів на стаціонарних постах мережі спостережень;

- співпраця різних установ на муніципальному рівні – не координована.

В інших аналітичних матеріалах [5] стосовно недосконалості системи моніторингу зазначено конкретно: «...Стан державної системи моніторингу довкілля за її структурою, рівнем організації, можливостями вимірювання якісних та кількісних параметрів стану навколишнього середовища,

способом передачі та агрегації даних не відповідає завданням, що поставлені перед нею, і сучасним вимогам».

Авторами праці [6] проаналізовано недоліки системи моніторингу атмосферного повітря на рівні техногенно-навантаженої урбосистеми м. Харків. Зокрема зазначено, що основними недоліками існуючої системи моніторингу є: відсутність узгодженості та уніфікованості інформаційних технологій, недостатнє забезпечення мереж засобами інформаційного обміну і, як наслідок, недостатня оперативність у наданні інформації користувачам; недостатній рівень технічного та методичного забезпечення функціонування мереж спостережень. Авторами роботи [7] зроблено аналітичний огляд питання доступу громадськості до інформації систем моніторингу, зроблено висновки, що це питання в Україні має позитивні приклади вирішення такого складного завдання. Однак при цьому відсутній єдиний концептуальний підхід з боку держави у цьому питанні.

Отже переважна більшість визначених недоліків має організаційно-технічний характер та може бути усунена завдяки реформуванню законодавчої бази та створенню автоматичних інформаційно-аналітичних систем. Між тим теоретичний базис вдосконалення систем моніторингу на рівні урбосистем (урбанізованих територій) не є достатньо опрацьованим та не має концептуального підходу.

Постановка завдання та його вирішення.

Враховуючи результати наведеного вище аналізу, метою роботи є аналіз аспектів формування концепції екологічного моніторингу атмосферного повітря на муніципальному рівні (рівні урбосистеми) з конкретизацією її складових. Одним з аспектів формування концепції має бути теоретичне забезпечення побудови оптимальної структури муніципальної інформаційно-аналітичної системи екологічного моніторингу атмосферного повітря.

Варто зазначити, що концепція – це структурований документ, що поєднує певні задачі, розв'язання яких є необхідним для досягнення встановленої мети, спрямованої на вирішення актуальної проблеми. Концепція визначає напрям реалізації стратегії як плану з досягнення певної мети. На відміну від стратегії, концепція має ознаки варіативності у процесі розв'язання поставлених задач та не вказує конкретних термінів досягнення встановленої мети. Однак доповнення структури концепції блоком індикаторів створить умови для більш чіткого розуміння стратегічних задач та дозволить у процесі побудови стратегії не лише визначити терміни реалізації, а й обґрунтовано встановити чисельні значення індикаторів.

Треба також чітко розуміти той факт, що основною філософською думкою при побудові екологічних концепцій має бути їх чітке спрямування на захист прав людей на чисте довкілля, збереження їх здоров'я, захист природних компонентів довкілля від наслідків антропогенної та, особливо, техногенної діяльності

суспільства. Це факт особливо важливий для побудови концепції екологічного моніторингу, оскільки основним завданням реалізації системи моніторингу на муніципальному рівні має бути захист довкілля і здоров'я громадян, аж ніяк не одержання інформації для забезпечення діяльності державної системи моніторингу. Також необхідно враховувати, що соціогенні чинники формування екологічної небезпеки, такі як: екологічна свідомість, екологічні знання, екологічна культура – у більшості випадків є визначальними у процесі управління екологічною безпекою. Таким чином проведення систематичних соціологічних досліджень для з'ясування рівня екологічної поінформованості населення є необхідною передумовою постановки задач концепції та інтерпретації результатів їх розв'язання.

Враховуючи зазначене, запропоновано базову структуру концепції екологічного моніторингу, представлену на рис. 1.

На підставі аналізу проблем системи екологічного моніторингу реальної техногенно-навантаженої урбосистеми міста Кременчук [8] було розроблено орієнтовну структуру концепції.

Для Кременчука вирішальним є факт визначення за результатами роботи мережі стаціонарних постів спостережень, пересувних джерел викидів (транспорту) як основних забруднювачів атмосферного повітря, у той час як 100% скарг мешканців міста надходить до муніципальної кризової лінії з районів міста, розташованих в межах впливу промислових вузлів; до того ж, переважно у нічний час, коли спостереження не здійснюються.

Базова проблема. Неповнота систематичної та оперативної системи спостережень для розробки дієвих рекомендацій та прийняття ефективних управлінських рішень із попередження, недопущення та мінімізації наслідків впливу забруднювачів атмосферного повітря на компоненти довкілля і здоров'я населення.

Мета концепції. Суттєва модернізація системи спостережень і створення інформаційно-аналітичної системи оцінювання якості атмосферного повітря міста для забезпечення прав кожного жителя на чисте атмосферне повітря та доступу до якісної екологічної інформації.

Концептуальні задачі:

1. Удосконалення системи стандартного (систематичного) моніторингу;
2. Розроблення ефективної системи оперативного (кризового) моніторингу;
3. Формування системи фото- і відеомоніторингу;
4. Удосконалення системи попереджень про настання кліматичних умов, що сприяють забрудненню атмосферного повітря;
5. Запровадження практики експертного аналізу первинної інформації системи оперативного та вторинної інформації стандартного моніторингу;
6. Антропоцентрична переорієнтація системи соціологічного моніторингу (за проблемою, що розглядається);

7. Модернізація інформаційної системи відображення результатів роботи системи моніторингу.

Очікувані результати:

1. Оптимізація системи спостережень за станом забруднення атмосферного повітря на рівні урбосистеми із забезпеченням одержання якісної оперативної та статистичної інформації методами стаціонарних, маршрутних спостережень, а також прогностичного моделювання.

2. Налаштування роботи інформаційно-аналітичної системи моніторингу атмосферного

повітря на місцевому рівні із забезпеченням широкого Web-орієнтованого ієрархічного та диференційованого доступу до екологічної інформації.

3. Організація роботи експертно-аналітичної системи для розробки та прийняття управлінських рішень для забезпечення зниження рівнів екологічної небезпеки.

4. Створення соціологічної системи систематично-го опитування громадськості міста з проблем довкілля для забезпечення підвищення рівня екологічної поінформованості та культури.

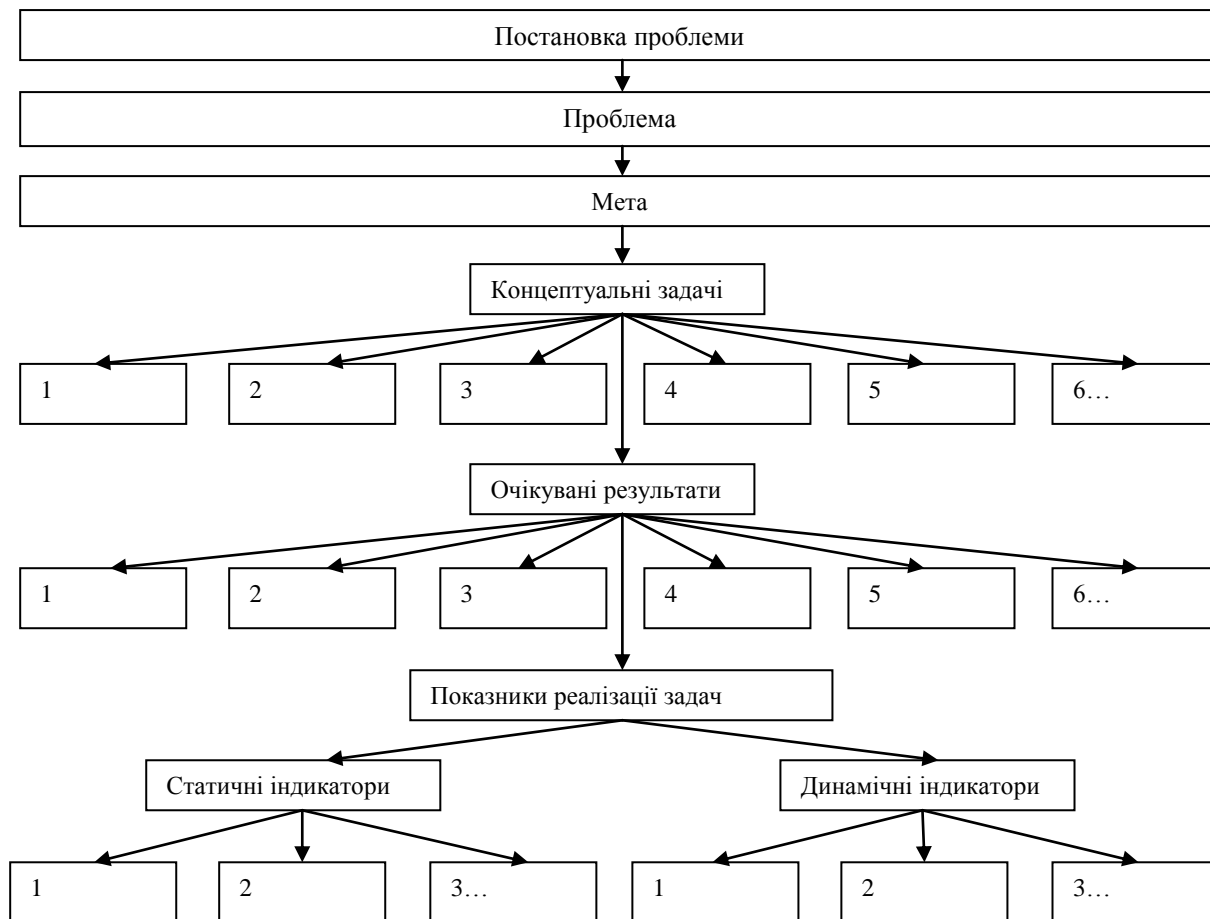


Рис. 1 – структура концепції екологічного моніторингу

Показники реалізації концептуальних задач:

1. Модернізація системи розташування стаціонарних постів спостережень за станом забруднення атмосферного повітря для виконання завдань євроінтегрованої державної системи моніторингу.

2. Забезпечення інформаційно-аналітичної системи цілодобовою оперативною інформацією мережі спостережень.

3. Фото та відео фіксація результатів діяльності джерел формування екологічної небезпеки для підтвердження фактів надмірного впливу на стан атмосферного повітря.

4. Забезпечення ефективної роботи системи короткострокового прогнозування настання несприятливих метеорологічних умов, що можуть

сприяти забрудненню атмосферного повітря.

5. Аналітична обробка даних системи спостережень у кризових (екстремних) ситуаціях шляхом незалежної громадської експертної оцінки.

6. Повнота та репрезентативність аналітичної інформації, одержаної за результатами соціологічних досліджень.

7. Web-орієнтована візуалізація роботи складових системи моніторингу з диференціацією інформації та доступу до неї.

Індикатори роботи концепції

Технічні *статичні* індикатори: усереднені значення концентрацій забруднюючих речовин, значення стандартних та комплексних індексів забруднення атмосферного повітря, одержані за

результатами спостережень на міському «фоновому» пості спостережень, у порівнянні з іншими постами міської мережі; фактичні значення концентрацій забруднюючих речовин із фіксацією перевищень санітарно-гігієнічних нормативів і метеорологічних умов, за яких ці перевищення зафіксовані; фото- і відеоматеріали для супроводження фактів фіксації наднормативних концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі міста; обґрунтовані висновки експертів із чітким визначенням внеску об'єктів впливу в загальний рівень забруднення атмосферного повітря.

Технічні *динамічні* індикатори: зменшення фіксованих випадків перевищень нормативних значень критеріїв чистоти атмосферного повітря під час несприятливих метеорологічних умов; збільшення кількості прийнятих до уваги експертних висновків у справах за фактами порушення законодавства у сфері охорони атмосферного повітря.

Соціальні *динамічні* індикатори: зменшення відсотка респондентів системи соціологічних опитувань, які визначають показник «брак інформації» як проблему стану довкілля в місті; збільшення відсотка респондентів, задоволених рівнем інформації про стан забруднення атмосферного повітря в місті; збільшення числа звернень громадян міста до Web ресурсу інформаційно-аналітичної системи; зменшення числа звернень громадян на кризові інформаційні лінії органів муніципальної влади з питань забруднення атмосферного повітря.

Враховуючи той факт, що практична реалізація концепції у частині як концептуальних завдань, так і очікуваних результатів базується (а також визначає її структуру) на роботі інформаційно-аналітичної системи моніторингу, нами було проаналізовано недоліки існуючих інформаційних сайтів системи моніторингу на рівні урбосистеми, запропоновано теоретичний базис для побудови інформаційних сайтів та запропоновано вимоги до структури інформаційного сайту як частини інформаційно-аналітичної системи екологічного моніторингу атмосферного повітря урбосистеми.

Недоліки діючих інформаційних сайтів:

- відображення інформації переважно у цифровому вигляді без урахування рівня знань користувачів;
- переважне застосування статичних картографічних ресурсів;
- відсутність диференційованого доступу до бази даних;
- відсутність форм зворотного зв'язку;
- орієнтованість на виконання завдань державних органів влади відповідно до законодавства про державний моніторинг без урахування інтересів пересічних членів громади;
- відсутність алгоритмів для попередження користувачів ресурсу і членів громади про можливі різкі зміни рівнів забруднення;

- відсутність алгоритмів для прийому й переадресації запитів та звернень зареєстрованих користувачів, наприклад на місцеву урядову «гарячу» лінію.

Теоретичний базис для побудови структури інформаційного сайту: спрямованість не на інформування державних та приватних установ, організацій, підприємств тощо, а на надання інформації членам громади населеного пункту; представлення інформації за результатами спостережень, у тому числі у форматі, регламентованому діючими законодавчими актами, галузевими настановами та керівними документами; орієнтованість не на «точність» відображення діючої ситуації, а на порівняльний аналіз і попередження можливих негативних змін; пріоритет на відображення результатів разових вимірювань з максимальними значеннями концентрацій речовин; найвищий пріоритет – підвищення рівня екологічних знань, екологічної культури та екологічної самосвідомості населення.

Структура інформаційного сайту:

- масив даних спостережень має бути доступним через сайт;
- рівень доступу до інформації має бути ієрархічним;
- доступ має бути захищеним;
- первинну реєстрацію має здійснювати адміністратор ресурсу;
- хостінг та платформа сайту повинні забезпечувати зворотний зв'язок із зареєстрованими користувачами;
- одержання первинної інформації може бути здійснене без реєстрації;
- платформа повинна забезпечувати зв'язок із муніципальною «гарячою» лінією;
- реєстрація користувача в системі інформаційного сайту через номер телефону чи адресу електронної пошти повинна забезпечувати можливість подачі ним звернення на муніципальну «гарячу» лінію, а також, забезпечити одержання пакетів інформації з сайту;
- форма первинної реєстрації користувача має містити інформацію про його адресу проживання.

Висновки. У роботі запропоновано базову схему для розробки концепції екологічного моніторингу атмосферного повітря на рівні урбосистем. Вказано необхідність відображення статичних та динамічних результатів реалізації концепції у вигляді індикаторів, що дозволить чітко реагувати на проблемні концептуальні моменти з орієнтацією на попередження негативного впливу об'єктів техносфери на стан довкілля та здоров'я населення, зниження рівнів сформованої екологічної небезпеки, підвищення рівня екологічної безпеки на місцевому рівні за рахунок управління соціогенними чинниками.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Про оптимізацію системи центральних органів виконавчої влади: постанова КМУ № 442 від 10 вересня 2014 р., м. Київ [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/442-2014-%D0%BF>.
2. Федонюк М. А. До питання удосконалення системи державного екологічного моніторингу стану атмосферного повітря [Електронний ресурс] // Державне управління: удосконалення та розвиток: електронне наукове фахове видання – 2013. – № 2. – Режим доступу : <http://www.dy.nayka.com.ua/?op=1&z=541>.
3. РД 52.04.186–89 Руководство по контролю загрязнения атмосферы [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/44/44486/.
4. Про затвердження Порядку організації та проведення моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря. – Постанова КМУ № 343 від 9 березня 1999 р., м. Київ.
5. Потапенко В.Г. Проблемы державної системи екологічного моніторингу в Україні та шляхи їх подолання. Аналітична записка / В. Г. Потапенко, І. В. Шевчук [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://www.niss.gov.ua/articles/1038>.
6. Некос А. Н. Стан, проблеми та недоліки функціонування системи моніторингу атмосферного повітря м. Харків / А. Н. Некос, Я. С. Молодан // Людина і довкілля. Проблеми неоекології. – Харків : ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2011. – Вип. 1–2. – С. 47–53.
7. Радовенчик В. М. Доступ до екологічної інформації в Україні / В. М. Радовенчик, Я. В. Радовенчик, І. Г. Качула // Вісник НТУ «КПІ». Серія: Хімічна інженерія, Екологія та збалансоване природокористування. – Київ : НТУ «КПІ», 2016. – Вип. 1. – С. 75–80.
8. Бахарев В. С. Аналіз адекватності діючої мережі та обґрунтування пропозицій щодо розміщення стаціонарних постів спостереження за станом атмосферного повітря у м. Кременчук / В. С. Бахарев, М. К. Журавська, А. В. Маренич // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2016. – Вип. 4 (99). – С. 80–87.

Стаття надійшла до редакції 07.03.2017

В. С. Бахарев

ФОРМИРОВАНИЕ КОНЦЕПЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА НА МУНИЦИПАЛЬНОМ УРОВНЕ

Проанализированы аспекты формирования концепции экологического мониторинга атмосферного воздуха на уровне урбосистем. Предложено базовую схему построения концепции. Отмечено, что концепция должна базироваться на антропоцентрическом подходе. На примере нерешенных вопросов экологического мониторинга атмосферного воздуха в урбосистеме города Кременчуга (Украина) конкретизированы составляющие концепции с выделением целей, задач, статических результатов и динамических индикаторов реализации концепции. Проанализированы недостатки существующих информационных сайтов системы мониторинга на уровне урбосистемы. Предложено теоретический базис для построения информационных сайтов и предложено требования к структуре информационного сайта как части информационно-аналитической системы экологического мониторинга атмосферного воздуха урбосистемы. Предложенная структура публичной части информационно-аналитической системы позволит полноценно использовать мощности Web-ресурсов для решения задач повышения уровня экологической безопасности на муниципальном уровне.

Ключевые слова: концепция, экологический мониторинг, атмосферный воздух, урбосистема, система мониторинга, муниципальный уровень.

V. Bakharev

THE ATMOSPHERIC AIR ECOLOGICAL MONITORING CONCEPT FORMATION AT THE MUNICIPAL LEVEL

The aspects of atmospheric air ecological monitoring concept formation at the municipal level have been analyzed. The basic scheme of concept construction has been proposed. It has been defined that the concept has to be built on the anthropocentric approach. The samples of the atmospheric air ecological monitoring unsolved issues on the urban system of the town of Kremenchuk (Ukraine) have been taken to concretize the integral parts of the concept with defining the goals, the objectives, the statistic results and the dynamic indicators of the concept implementation. The shortcomings of existing information site monitoring at urban system have been analyzed. The theoretical basis for the construction of information sites has been defined and proposed requirements for the structure information site as part of information-analytical system for environmental monitoring of air urban system. The structure of public information and analytical system will fully use the power of Web-resources for solving problems improve environmental safety at the municipal level.

Keywords: concept, ecological monitoring, atmospheric air, urban system, monitoring system, municipal level.

УДК 622.32:351.824.1

Л. Я. Побережний, д. т. н., професор

А. В. Яворський, к. т. н.

В. С. Цих, к. т. н.

А. І. Станецький, к. т. н.

А. В. Грицанчук, аспірант

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна, 76019

ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТРУБОПРОВІДНИХ МЕРЕЖ НАФТОГАЗОВОГО КОМПЛЕКСУ УКРАЇНИ

Екологічна безпека об'єктів нафтогазового комплексу – це безпечне для довкілля функціонування будь-якого об'єкта, з одного боку, і відсутність шкідливого впливу оточуючого середовища на об'єкт – з іншого. Забезпечення надійної та безпечної експлуатації трубопроводів, які транспортують цінну вуглеводневу сировину споживачеві, є найважливішим стратегічним напрямом стабільного розвитку цілої низки держав. Це багато в чому залежить від результатів аналізу відмов і руйнувань у системі трубопровідного транспорту. І тільки комплексний підхід до даного питання, що враховує специфіку прокладання і експлуатації трубопроводу, зможе дати реальну картину причин, які призводять до порушення стабільного режиму функціонування. Проаналізовано основні причини відмов тривало експлуатованих трубопроводів. Розроблено та запропоновано схему реалізації концепції безпечної експлуатації магістральних трубопроводів.

Ключові слова: трубопровідна система, екологічна безпека, нафтогазовий комплекс, показники аварійності, безпечна експлуатація.

Постановка проблеми. Антропогенне і техногенне навантаження на навколишнє природне середовище в Україні у кілька разів перевищує відповідні показники у розвинених країнах світу. Практично дві третини населення країни проживає на територіях, де стан атмосфери не відповідає гігієнічним нормативам. За рівнем раціонального використання водних ресурсів та якості води Україна, за даними ЮНЕСКО, серед 122 країн світу посідає 95-е місце.

Значне техногенне навантаження на довкілля мають підприємства, зокрема паливно-енергетичного комплексу. Так, викиди енергетичної галузі становлять близько 40 % викидів усіх секторів економіки. Загальні викиди забруднюючих речовин стаціонарними джерелами об'єктів нафтогазового комплексу сягають близько 4,7 млн т. Обсяги використання свіжої води та відведення забруднених вод підприємствами Національної акціонерної компанії «Нафтогаз України» становлять 7,5 млн м³.

Екологічна безпека об'єктів нафтогазового комплексу – це безпечне для довкілля функціонування будь-якого об'єкта, з одного боку, і відсутність шкідливого впливу оточуючого середовища на об'єкт – з іншого. Отже, у системі «природа–технічний об'єкт–людина» повинна бути збалансована взаємодія природних, технічних і соціальних систем, яка б забезпечувала оптимальні санітарно-гігієнічні, матеріально-технічні, естетичні та інші потреби людини в зоні дії виробничого об'єкта, за умови збереження природно-ресурсного та екологічного потенціалу природних систем та їх здатності до саморегулювання і відновлення.

Рівень небезпеки нафтогазового об'єкта для довкілля і здоров'я людини може бути різним – від найнезначнішого відхилення від норми до критичного і навіть катастрофічного. На поточний момент на балансі підприємств Компанії нарахо-

ується 1238 потенційно небезпечних об'єктів та 848 об'єктів підвищеної небезпеки. Загальні екологічні витрати підприємств Компанії за 2014 рік становлять близько 102 млн грн та мають тенденцію до збільшення. Це витрати на охорону навколишнього середовища (капітальні інвестиції, екологічний податок і поточні витрати) та капітальний ремонт. Рівень штрафних санкцій загалом по Компанії становить близько 40 тис. грн. [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Виробнича діяльність підприємств нафтогазового комплексу України пов'язана як із визначеним та регламентованим впливом на навколишнє середовище, так і з можливістю виникнення негативних наслідків для довкілля у випадку техногенних чи природних катаклізмів. Характерною рисою цього впливу є його багатоплановість (одночасний вплив на різні елементи навколишнього середовища), розмаїтість характеру впливу (від механічних змін ландшафту до радіоактивного забруднення), а також масштаб (негативні ефекти проявляються не тільки на регіональному, але й на глобальному рівнях).

Серед основних екологічних проблем, пов'язаних з функціонуванням нафтогазової галузі, необхідно виділити [2]:

– геологорозвідувальні та бурові роботи під час пошуків, розвідки та підготовки до експлуатації нафтогазових об'єктів. На цій стадії виконують роботи з оцінки впливу на навколишнє природне середовище безпосередньо у ході проведення геологорозвідувальних робіт та експлуатаційного буріння. В технологічному аспекті ця проблема має бути вирішена у контексті переходу на безамбарне буріння;

– видобування і транспортування нафти й газу та вирішення проблеми екологічної безпеки під час експлуатаційних робіт. Цей напрям базується на

необхідності управління екологічним станом геосферного простору одночасно з недопущенням екологічних аварій і катастроф, пов'язаних із видобуванням та експлуатацією;

– екологічна безпека під час зберігання нафти та газу і транспортування магістральними газо- та нафтопроводами.

Стан магістрального трубопроводу, при якому він відповідає всім вимогам документації, називають справним. Якщо магістральний трубопровід не відповідає хоча б одній з вимог документації, то його стан називають несправним. Стан магістрального трубопроводу, при якому значення всіх параметрів, що характеризують його здатність виконувати задані функції, відповідають вимогам документації, називають працездатним. В загальному випадку вводиться проміжне поняття часткової працездатності. Прикладом частково працездатного стану може служити такий стан магістрального трубопроводу, при якому він здатний виконувати необхідні функції з перекачування продукту зі зниженими показниками, зокрема зі зниженою продуктивністю (за більш низького тиску, ніж номінальний). Перехід об'єкта в граничний стан має наслідком тимчасове або остаточне припинення експлуатації об'єкта. За досягнення граничного стану об'єкт повинен бути знятий з експлуатації, направлений на середній або капітальний ремонт, списаний, знищений або переданий для використання не за призначенням. Для об'єктів, що ремонтуються, виділяють два або більше видів граничних станів.

Під відмовою розуміють будь-яку подію, що полягає в порушенні працездатного стану магістрального трубопроводу. Відмова може бути повною, коли внаслідок відмови настає повний непрацездатний стан, і частковою, коли настає частково непрацездатний стан. Необхідно розрізнити відмови від пошкоджень, тобто від порушень справного стану об'єкта при збереженні його працездатного стану. Серед всіх відмов виділяють особливо небезпечні – катастрофічні відмови, настання яких створює загрозу для життя і здоров'я людей та для навколишнього середовища або призводить до значних економічних втрат. До критичних відносяться відмови, виникнення яких призводить до невиконання відповідального завдання. Висновок про критичність (катастрофічність) відмови можна зробити з аналізу затрат праці і часу на усунення наслідків відмов, можливості, доцільності та необхідності ремонту, тривалості простоїв, рівня зниження продуктивності при відмові, що призводить до часткового непрацездатного стану.

Ознака чи сукупність ознак порушення справного стану при збереженні працездатного стану магістрального трубопроводу називається критерієм пошкодження. Ознака чи сукупність ознак порушення працездатного стану магістрального трубопроводу називається критерієм відмови. Основна вимога до трубопроводів як до транспортних систем підвищеної відповідальності з точки зору забезпечення безпеки полягає в

збереженні герметичності і конструкційної цілісності протягом всього терміну служби. Тому будь-яка подія, пов'язана з порушенням герметичності конструкції трубопроводу, має бути класифікована як відмова. Для газопроводів, як правило, локальне порушення герметичності (свищ, тріщина) вже являє собою критичну відмову. Нафтопроводи є більш живучими об'єктами, ніж газопроводи. Тому, як наслідок, нафтопровід зі свищем або наскрізним отвором може зберігати часткову працездатність. Тобто не обов'язково розглядати локальне порушення герметичності як критичну відмову.

Довготривала експлуатація трубопроводів, починаючи від транспортування та зберігання труб, спричиняє різні види їх пошкоджень; зокрема це: пошкодження ізоляційного покриття (рис. 1, а) [3–4]; корозійні пошкодження (рис. 1, б) [5–7], забоїни в металі труби (рис. 1, в), розгалужені тріщини (рис. 1, г), тріщини у зварних швах тривалої експлуатації (рис. 1, д) і тріщини біля зварних швів (рис. 1, е).

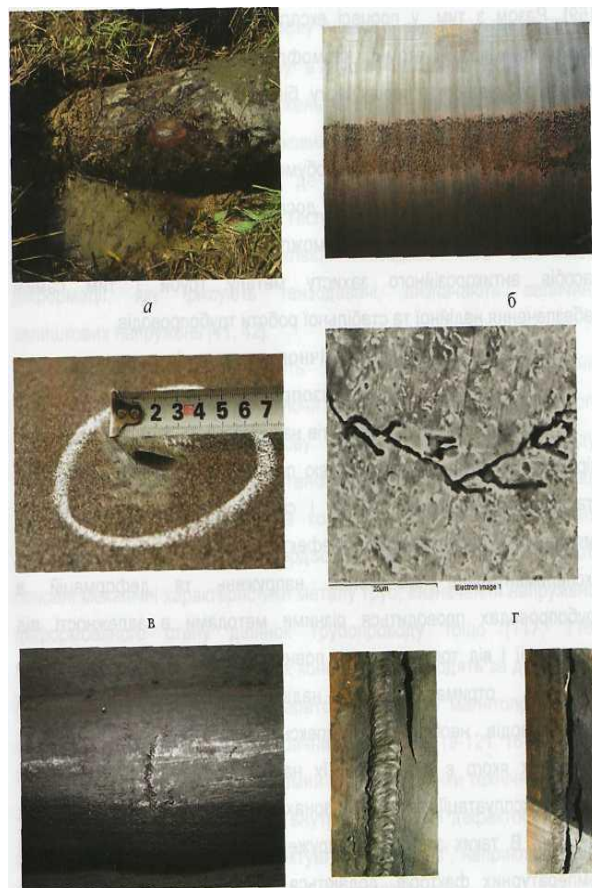


Рис. 1 – Типові пошкодження трубопроводів тривалої експлуатації: а – пошкодження ізоляційного покриття; б – корозійні пошкодження тіла труби; в – забоїни в металі труби; г – розгалужені тріщини; д – тріщини у поздовжніх зварних швах; е – тріщини біля кільцевих зварних швів

Вказані пошкодження за подальшої експлуатації трубопроводів знижують їх надійність. Такі пошкодження при контакті із зовнішніми технологічними середовищами спричиняють

корозійні, механічні та корозійно-механічні процеси, що призводять до руйнування труб [8–10].

Для діючих трубопроводів основними чинниками впливу на довкілля є витoki продукту [11–13] (газу, нафти, аміаку тощо) та

важкі аварійні ситуації (вибухи, розриви внаслідок просідань ґрунту, корозійне розтріскування чи стрес корозії), які несуть у собі небезпеку як для довкілля загалом, так і для життя та здоров'я людей зокрема (рис. 2).



а



б

Рис. 2 – Наслідки для довкілля від вибуху газу на трубопроводі «Уренгой–Помари–Ужгород»

На жаль, досі в Україні немає чіткої методології забезпечення безпеки трубопровідних систем. При проектуванні, згідно наявних нормативних документів, якщо проект відповідає усім сьогоднішнім вимогам, окремий аналіз безпеки та ґрунтовний ризик-аналіз із оцінкою кількості можливих відмов та прогнозуванням їх наслідків (побудова «дерева відмов») не проводиться. Така практика призводить до того, що все частіше ми чуємо про значні аварії на трубопровідному транспорті. Зокрема в 2007 р. сталася велика аварія

на одній з основних артерій газотранспортної системи трубопроводі «Уренгой–Помари–Ужгород» загальною протяжністю майже 4500 км та потужністю транспортування 32 млрд. куб. м на рік. Внаслідок вибуху газу залишилася воронка діаметром близько 100 м. Територія в радіусі кілометра повністю випалена (рис. 2). Деревя обвуглилися, земля перетворилася на яскраво-оранжевий субстрат. Окремі частини труби вибухом відкинуло на 60–70 м (рис. 3, а).



а



б

Рис. 3 – Руйнування трубопроводу «Уренгой–Помари–Ужгород» внаслідок вибуху газу

Постановка завдання та його вирішення.

Перша група основних причин, які призводять до виникнення аварій та інших інцидентів, пов'язана з порушенням технологічних регламентів під час проведення робіт в період будівництва чи ремонту об'єктів трубопроводів.

До другої групи причин аварійних ситуацій, які порушують умови безпеки транспортування та безпосередньо транспортованого продукту, відносяться корозійні та стрес-корозійні дефекти, виникли внаслідок як внутрішньої, так і зовнішньої корозії.

До третьої групи факторів відносяться дефекти обладнання та матеріалу, пов'язані із заводським браком та порушенням режиму експлуатації.

Четверта група пов'язана з порушенням вимог експлуатації та помилковими діями обслуговуючого персоналу, обумовленими недостатньою його підготовкою чи недобросовісним ставленням до ряду виконуваних робіт.

До п'ятої групи аварійних ситуацій відносяться аварії, які виникають під дією природних чинників, – стихійних лих, різних геодинамічних чинників тощо.

Ще одним наслідком негативних впливових факторів може бути розгерметизація трубопровідних систем. Розгерметизація магістральних газопроводів є наслідком появи і розвитку різного роду дефектів, спричинених різними чинниками (у тому числі і геодинамічними). Це може призвести до виникнення аварійних ситуацій з витокami природного газу, згубні наслідки яких вимагають прогнозування і попередження розгерметизації. Найбільш інтенсивного руйнування зазнає об'єкт в місцях перетину геодинамічної зони та у випадку розміщення в межах самої геодинамічної зони, що є особливо актуальним для трубопровідних систем.

Крім того, враховуючи можливі викиди метану в навколишнє середовище в галузі нафтогазової промисловості, Україна знаходиться в п'ятірці «лідерів» за цим показником [14].

Причин, що викликають виток газу на підземних газопроводах, декілька.

По-перше, електрохімічна корозія металу труб в анодній зоні й у місцях пошкодження ізоляційного покриття газопроводу.

По-друге, незадовільна якість зварювальних робіт, наслідком чого під дією температурних напружень і динамічних навантажень є розрив на підземних газопроводах. Прокладений у зонах геодинамічного ризику газопровід піддається впливу зовнішніх сил, що викликають додаткові напруження в тілі труби, особливо в місцях стикових з'єднань. Механізм впливу зовнішніх чинників на газопровід дуже складний, (і не піддається визначенню), а високий ступінь випадкових збігів впливів різних зовнішніх чинників може призвести до виникнення напружень у тілі труби або зварному з'єднанні, які перевищують границю плинності металу і його розрив.

Розриви зварних з'єднань виникають, як правило, раптово, тому виток газу, пов'язані з ними, важко вчасно виявити й усунути. Особливо небезпечними ці два види витоків газу є в зимовий період, коли через замерзання верхнього шару ґрунту погіршуються умови для виходу газу в атмосферу. Саме в цей період року може збільшитися кількість випадків проникнення газу в підвали будинків та інші інженерні комунікації.

По-третє, механічні пошкодження підземних газопроводів під час проведення земляних робіт, пов'язані з випадковим збігом ряду помилок і неточностей у проектно-виконавчій документації, помилковими діями технічних і адміністративних працівників, які виконують підземні роботи поблизу газопроводів.

Лабораторні дослідження, проведені в ряді газових господарств України, свідчать про те, що швидкість поширення (фільтрації) і знаходження газу в ґрунті коливається від 1 до 4 м/год. і залежить від складу ґрунту (глина, пісок, насипний ґрунт тощо), його стану (ступеня вологості й промерзання), глибини закладення газопроводів, а також від робочого тиску газу в підземному газопроводі.

Однак існує також велика кількість інших умов, які можуть спричинити виникнення аварійних ситуацій на трубопроводах.

Практика експлуатації газотранспортних систем у складних умовах виявила недостатню надійність газопроводів, прокладених в умовах боліт, заболоченої й обводненої місцевості. Ґрунти в такій місцевості характеризуються структурною нестійкістю, значним стисненням і малою заземлюючою здатністю. Ділянки газопроводу у непроєктному положенні відносяться до потенційно-небезпечних ділянок. Аналіз їх технічного стану повинен носити комплексний характер. Таким чином, було б доцільно сформулювати певну концепцію, яка дозволила б запобігати виникненню небезпечних процесів. Така концепція повинна передбачати наступне:

- визначення потенційно й аварійно-небезпечних ділянок на трубопроводах;
- локалізація активних геодинамічних зон і тектонічних порушень;
- виявлення прихованих тріщин відриву ґрунтів і площин ковзання ґрунтових мас на ділянках схилів під час прокладання та експлуатації трубопроводів;
- знаходження ділянок розвитку корозійних процесів.

Як приклад, до типових видів ділянок магістральних газопроводів у непроєктному положенні відносять:

- ділянки газопроводу, з порушеним ґрунтом засипання й оголенням поверхні труби;
- ділянки газопроводу які впливли на поверхню;
- випучування ділянок газопроводу (випучування і арочні викиди);
- просілі ділянки газопроводу (просадки);
- ділянки газопроводу, які провисають (провиси).

Відсутність постійного контролю для вище наведених ділянок магістральних газопроводів, особливо у важкодоступній місцевості, може призвести до розвитку незворотних аварійних процесів. Слід відмітити, що наведені вище досліджувані ділянки газопроводу відносяться до найнебезпечніших корозійних ділянок. На рис. 4 представлено запропоновану нами схема реалізації концепції безпеки експлуатації характерного прикладу трубопровідних систем – магістральних трубопроводів за технічним станом на основі даних неруйнівного контролю.

Згідно з концепцією «безпечної експлуатації складних технічних систем» оцінка технічного стану трубопровідних потенційно небезпечних інженерних мереж здійснюється за параметрами технічного стану, які забезпечують їх надійну та безпечну експлуатацію. Аналіз працездатності і оцінки залишкової міцності базується на параметрах технічного стану, зміна яких може вивести з ладу трубопровід. Визначення цих параметрів реалізуються методами і засобами неруйнівного контролю.

Старіння металевих комунікацій проявляється у деградації властивостей металу, розвитку пошкоджень і дефектів в стінках труб чи у про-

відниках кабельних мереж. Із плином часу експлуатаційні пошкодження і дефекти металу стають основною причиною відмов і руйнувань підземних трубопровідних систем.

Працездатність і безпека експлуатації таких потенційно небезпечних інженерних мереж в умовах їхнього старіння забезпечується шляхом реалізації взаємопов'язаних заходів:

– оцінки допустимості виявлених при неруйнівному контролі недосконалостей, пошкоджень та дефектів, ранжування їх за ступенем безпеки, визначення пріоритетів ремонтних робіт і періодичності діагностичних обстежень;

– вибіркові ремонти, які проводяться з використанням даних неруйнівного контролю, що забезпечують повне відновлення несучої здатності пошкоджених ділянок, продовження терміну

експлуатації трубопровідних систем.

Важливе значення має визначення періодичності контролю, яке напряму пов'язане із забезпеченням надійності комунікацій. За час до чергової інспекції дефекти не повинні набути розвитку до критичних розмірів і стати причиною відмови або аварії.

Таким чином, визначення періодичності неруйнівного контролю потребує врахування впливу як факторів, що визначають можливість виникнення аварії, так і факторів, які характеризують величину збитків від можливих аварій.

Статистичні дані про відмови та аварії у роботі трубопровідних систем, а також аналіз механізмів виникнення і розвитку дефектів дав змогу виявити основні фактори можливості виникнення аварій (табл. 1).



Рис. 4 – Схема реалізації концепції безпечної експлуатації магістральних трубопроводів

Серед цих факторів основною є інформація про дефекти (група 1 табл. 1). Фактори технічного стану досліджуваної ділянки трубопроводу за даними внутрішньотрубних інспекцій визначають вплив на імовірність аварії кількості та параметрів дефектів, виявлених внутрішньотрубними снарядами.

Висока точність вимірів геометричних параметрів дефектів внутрішньотрубними снарядами з високою роздільною здатністю дає змогу виконувати розрахунки дефектних ділянок на міцність.

В результаті розрахунку на міцність визначаються небезпечні дефекти, в зонах яких може статись руйнування трубопроводу. Небезпечні дефекти підлягають якнайшвидшому ремонту.

Частина дефектів, які залишаються на момент, наприклад, проведення внутрішньотрубно́ї діагностики, для трубопроводів не вимагають прийняття термінових дій з проведення ремонтів, але вони в подальшому можуть розвиватись і досягти стану небезпечних.

Конструктивно-технологічні фактори (група 2 табл. 1) визначають вплив на імовірність виникнення аварії конструктивних особливостей трубопроводних систем і якості будівельно-монтажних та ремонтних робіт.

Фактори експлуатаційного навантаження потенційно небезпечних трубопроводів (група 3 табл. 1) визначають вплив на імовірність виникнення аварії ступеня навантаження споруди в процесі експлуатації і враховують циклічність навантаження внутрішнім або зовнішнім тиском транспортування, розміщення насосно-компресорних станцій на досліджуваній ділянці, можливість появи гідроударів.

Фактори корозійного впливу (група 4 табл. 1) визначають вплив на імовірність виникнення аварії трубопроводних систем параметрів, які сприяють виникненню і розвитку корозійних дефектів.

Антропогенні фактори (група 5 табл. 1) визначають імовірність пошкодження трубопроводних мереж внаслідок антропогенної активності в зоні їх прокладання, що полягає у збільшенні ризику пошкодження тіла трубопроводу в результаті несанкціонованих робіт на їх трасах і аварій на сусідніх об'єктах.

Фактори природних впливів – це параметри, які характеризують можливість пошкодження трубопроводу в результаті руху ґрунту. Ці фактори визначаються ландшафтно-геохімічним положенням, кліматичними і гідрогеологічними умовами території пролягання досліджуваних об'єктів контролю, а саме – нафто- та газопроводів.

Табл. 1 – Фактори оцінювання можливості виникнення аварій на нафто- та газопроводах

Найменування групи факторів	Найменування факторів
Фактори технічного стану ділянки нафтогазопроводу за даними неруйнівного контролю	<ol style="list-style-type: none"> 1. Кількість небезпечних дефектів; 2. Відносний показник втрати міцності комунікації, зумовлений наявністю небезпечних дефектів; 3. Термін ремонту ділянок із небезпечними дефектами; 4. Кількість виявлених незначних дефектів; 5. Ймовірність розвитку незначних дефектів до досягнення стану небезпечних.
Конструктивно-технологічні фактори	<ol style="list-style-type: none"> 1. Довжина ділянки комунікації; 2. Конструктивно-габаритні параметри комунікації; 3. Фактична товщина стінок комунікації; 4. Марка сталі, її механічні характеристики; 5. Термін експлуатації досліджуваної ділянки; 6. Виготовлювач комунікацій; 7. Категорія ділянки за складністю проведення робіт; 8. Наявність захисних покриттів; 9. Характеристики підводних переходів.
Фактори експлуатаційного навантаження трубопроводу	<ol style="list-style-type: none"> 1. Паспортна продуктивність; 2. Середньорічні об'єми технологічного навантаження; 3. Дані про робочий тиск; 4. Несуча здатність ґрунту; 5. Фізико-хімічні характеристики продукту транспортування.
Фактори корозійного впливу	<ol style="list-style-type: none"> 1. Корозійна активність ґрунту; 2. Кліматичний район; 3. Тип зовнішнього ізоляційного покриття (матеріал, конструкція і спосіб нанесення); 4. Тривалість експлуатації комунікації без заміни ізоляційного покриття; 5. Захищеність ділянки по довжині засобами електрохімзахисту; 6. Дані про наявність ділянок, де комунікація виходить із ґрунту у воду або на повітря і навпаки; 7. Корозійна активність транспортованого продукту.
Антропогенні фактори	<ol style="list-style-type: none"> 1. Рівень господарської активності поблизу ділянки пролягання підземної комунікації; 2. Розміщення сусідніх промислових об'єктів; (газопроводів, продуктопроводів, доріг тощо).
Фактори природних впливів	<ol style="list-style-type: none"> 1. Можливість деформації ґрунту (обвали, зсуви, просідання та здійсання ґрунту тощо); 2. Можливість нерівномірного осідання ґрунту; 3. Можливість розмиву ґрунту через зміну русла річок або дію підґрунтових вод; 4. Зміна рельєфу місцевості.

Для оцінки імовірності та важкості відмов використовують два типи моделей. Спрощені моделі, використовують комбінацію історичної інформації, статистичної кореляції і спрощених алгоритмів. Таке моделювання переважно застосовується зараз на підприємствах нафтогазового комплексу. Однак воно недостатньо коректно та точно оцінює імовірність відмов, їх важкість та наслідки для довкілля. Запропоновано загальний алгоритм оцінки наслідків відмови.

Необхідно ширше впроваджувати запропоновані передові моделі, засновані на структурних методах надійності. Ці методи розраховують імовірність відмов, використовуючи структурні моделі, які визначають несучу здатність труби (відомий як розробка критичних моделей оцінки) і дають змогу оцінки та прогнозування зміни властивостей матеріалу трубопроводу з урахуванням експлуатаційних навантажень та впливів. Для визначення імовірності відмов через корозійну та стрес-корозійну деградацію запропоновано використовувати корозійні діаграми та діаграми стабілізаційних потенціалів. Для оцінки зменшення несучої здатності в результаті взаємодії з навколишнім середовищем – закономірності низькотемпературної корозійної повзучості. Такі методологічні підходи дають змогу гнучко реагувати на нові входні дані (планової та позапланової діагностики, проведення ремонтних робіт тощо) для кожного сегмента трубопроводу, а також шляхом моделювання оцінити ефективність різних способів усунення дефектів та розробити оптимальний комплекс заходів зі зменшення імовірності відмов на трубопроводі.

При розрахунку періодичності виконання неруйнівного контролю стану досліджуваних трубопроводів необхідно враховувати фактори, які визначають величину збитків навколишньому середовищу і населенню від можливої аварії [15]. Величина збитків визначається:

- площею забруднення території викликаного аварією;
- відновлюваною після забруднення території площею;
- природно-кліматичними характеристиками території, де знаходиться досліджуваний трубопровід;
- густиною населення в районі пролягання комунікації;
- об'ємом втрачених енергетичних та сировинних продуктів;
- економічними збитками від зупинки і простою трубопроводу.

Згідно статистичних даних вагомими важко передбачуваними причинами впливу на технічний стан протяжних інженерних споруд є фактори природних впливів які мають велику залежність від геодинамічних неоднорідностей в зоні пролягання трубопровідних мереж.

Висновки. Проаналізовано основні джерела впливу об'єктів нафтогазового комплексу на довкілля. Визначено основні причини виникнення позаштатних ситуацій на нафтогазопроводах. Запропоновано класифікацію факторів оцінювання можливості виникнення аварій на нафто- та газопроводах. Розроблено алгоритм реалізації концепції безпечної експлуатації трубопровідних систем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сторчак С. О. Актуальні аспекти екологічної політики в нафтогазовому комплексі (на прикладі Національної акціонерної компанії «Нафтогаз України» / С. О. Сторчак, В. Г. Маслюченко, В. В. Дмитрик // Нафтогазова галузь України. – 2015. – № 2. – С. 40–45.
2. Екологічні проблеми нафтогазового комплексу: матеріали науково-практичної конференції – К. Науково-просвітницький центр «Екологія. Наука. Техніка» Товариства «Знання» України, 2003. – 159 с.
3. Roche M. Corrosion hazards related to pipes: How to control them / M. Roche // Conference Paper, Offshore Hazards and their Prevention, London, April 30–May 1, 1990.
4. Legghe E. Loss of adhesion of three layers pipelines coatings under cathodic protection / E. Legghe, E. Aragon, L. Belec, A. Margaillan, D. Mélot, M. Roche // 17th Pipeline Protection Conference, BHRG, Edinburg, UK, 2007.
5. Parkins R. N. Transgranular Stress Corrosion Cracking of High-Pressure Pipelines in Contact with Solutions of Near Neutral pH / R. N. Parkins, W. K. Blanchard, B. S. Delanty // CORROSION. – 1994 – № 50(5). – P. 394–408.
6. Beavers J. A. The Influence of Soil Chemistry on SCC of Pipelines and the Application of the 100 mV Polarization Criterio / J. A. Beavers, C. L. Durr, and K. C. Garrity // CORROSION. – 2002. – № 02426.
7. Choi J. B. Development of limit load solutions for corroded gas pipelines / J. B Choi, B. K Goo, J. C Kim, Y. J Kim, W. S Kim // International Journal of Pressure Vessels and Piping. – Vol. 80.–Issue 2. – P. 121–128.
8. Features of in-service degradation of structural metallic materials in volume under the action of aggressive media / Н. М. Nykyforchyn, О. Т. Tsyurulnyk // Probl. Prochn. – 2009 – № 6 – P. 79–94.
9. Крижанівський Є. І. Деградація матеріалів нафтогазових об'єктів довготривалої експлуатації та шляхи забезпечення їх працездатності / Є. І. Крижанівський // Розробка родовищ. – 2014. – С. 241–253.
10. Marushchak P. O. Study of Main Gas Pipeline Steel Strain Hardening After Prolonged Operation / P. O. Marushchak, U. V. Salo, R. T. Bishchak, L. Y. Poberezhnyi // Chemical and Petroleum Engineering. – 2014. – № 50 (1–2). – P. 58.
11. Tollefson J. Methane leaks erode green credentials of natural gas / J. Tollefson // Nature 493,doi:10.1038/493012a.
12. Howarth R. W. Methane emissions from natural gas systems / R. Howarth, D. Shindell, R. Santoro, A. Ingraffea, N. Phillips and A. Townsend-Small // Background paper prepared for the National Climate Assessment. – 2012. – Reference number 201–0003.

13. Alvarez R. A. Greater focus needed on methane leakage from natural gas infrastructure / R. A. Alvarez, S. W. Pacala, J. J. Winebrake, W.L. Chameides, and S.P. Hamburg // Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2012. – №109. – P. 6435–6440.

14. Oil and Natural Gas Industry Methane Emissions: Worldwide – Top 5 Emitting Countries. Режим доступу : <http://www.epa.gov/gasstar/basic-information/index.html#sources>.

15. Крижанівський Є. І. Захист довкілля від аварій і катастроф трубопровідних систем в складних умовах експлуатації / Є. І. Крижанівський, Л. Я. Побережний, Л. Є. Шкіца // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2007. – № 1 (22). – С. 77–82.

Стаття надійшла до редакції 06.03.2017

Л. Я. Побережний, А. В. Яворский, В. С. Этих, Ф. И. Станецкий, А. В. Грицанчук
ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУБОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ
НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА УКРАИНЫ

Экологическая безопасность объектов нефтегазового комплекса – это безопасное для окружающей среды функционирование любого объекта, с одной стороны, и отсутствие вредного влияния окружающей среды на объект, с другой. Обеспечение надежной и безопасной эксплуатации трубопроводов, транспортирующих ценную углеводородное сырье потребителю, является важнейшим стратегическим направлением устойчивого развития целого ряда государств. Это во многом зависит от результатов анализа отказов и разрушений в системе трубопроводного транспорта. И только комплексный подход к данному вопросу, учитывающий специфику прокладки и эксплуатации трубопровода, сможет дать реальную картину причин, которые приводят к нарушению стабильного режима функционирования. Проанализированы основные причины отказов тривалоексплуатованих трубопроводов. Разработана концепция безопасной эксплуатации магистральных трубопроводов и предложена схема ее реализации.

Ключевые слова: трубопроводная система, экологическая безопасность, нефтегазовый комплекс, показатели аварийности, безопасная эксплуатация.

L. Poberezhny, A. Yavorsky, V. Tsyh, A. Stanetsky, A. Grytsanchuk
IMPROVING THE ENVIRONMENTAL SAFETY OF PIPELINE NETWORKS OF OIL AND GAS
COMPLEX OF UKRAINE

The environmental safety of oil and gas means a safe environment for the operation of any object on the one hand, and the absence of harmful effects of the environment on the object on the other. Providing reliable and safe operation of pipelines transporting hydrocarbons valuable to the consumer is the most important strategic direction of the stable development of a number of states. This largely depends on the results of the analysis of failures and damage to the pipeline system. Only a comprehensive approach to this issue, taking into account the specifics of laying and operation of the pipeline, will be able to give a real picture of the causes that lead to violations of the stable mode of operation. The basic causes of the long term exploited pipelines failures were analyzed. The scheme of the concept of safe operation of pipelines is developed and proposed.

Keywords: pipe system, environmental safety, oil and gas sector, accident rates, safe operation.

S. Vambol, DSc, Professor, Head of Department
 O. Kondratenko, PhD, Docent of Department
 National University of Civil Defense of Ukraine
 Chernyshevska Str., 94, Kharkiv, Ukraine, 61023

**RESULTS OF COMPLEX CRITERIAL FUEL AND ECOLOGICAL ASSESSMENT
 OF DIESEL ENGINE 2Ch10.5/12 FOR EMERGENCY AND RESCUE POWER PLANTS**

This article describes methodology, modified mathematical apparatus and results of application of prof. Parsadanov complex fuel and ecological criteria for assessment of ecological safety level of exploitation process of emergency and rescue equipment which powered with piston ICE on example of autotractor diesel engine 2Ch10.5/12. The study found that ratio between monetary equivalents of criteria components are vary from mode to mode of testing cycle and reaches maximum on minimal idling modes. Values of criteria reaches maximum on the mode of nominal power. Exploitation of diesel engine on loading characteristic with crankshaft speed of maximal torque mode is less preferred, than its exploitation on loading characteristic with crankshaft speed of nominal power mode. Exploitation of that diesel engine on modes with zero and low effective power is characterized by extremely low fuel and ecological effectiveness. Scientific novelty of the research results is that carried out using experimental data of motor bench tests on example of autotractor diesel engine 2Ch10.5/12, that operates on 13-mode standardized steady testing cycle both for the whole cycle, and for its individual modes. Practical value of the research results is that with modified mathematical apparatus can be carried out assessment of ecological safety level of exploitation process of emergency and rescue equipment, which powered with piston ICE of any type.

Keywords: technogenic and ecological safety, complex criterial assessment, emergency and rescue equipment, diesel engine.

Problem statement. Exploitation process of emergency and rescue power plants (PP) units, which are on combat duty of divisions of the State Emergency Service of Ukraine and equipped with diesel piston internal combustion engines (PICE), obviously, must be characterized by certain ecological safety (ES) level [1 – 3]. The main ES factors for such objects is pollutants mass hourly emissions with its engines exhaust gas (EG) flow, legislative established on Ukraine territory requirements to which contained in [4]. In order to ensuring the necessary ES level of that process was developed corresponding ecological safety management system (ESMS) and described in [1]. In study [2] was developed evaluation conception of the ESMS functioning efficiency, which involves calculated criterial assessment of ES level of PP with PICE exploitation process, and formulated main requirements for such criteria. But in specialized science and technical literature unitary approach to ES level complex assessment of such objects exploitation process was not find and that puts the actual task of developing of methodological basis and mathematical apparatus for such assessment [2, 3]. Most close to meet requirements to that criteria from number of known is prof. Parsadanov complex fuel and ecological criteria K_{FE} , which was developed for assessment of current competitiveness level of diesel PICE and activities for its increasing [5]. Calculated assessment of fuel and ecological effectiveness of PP exploitation process, the results is present in these paper, carried out for example of autotractor diesel engine 2Ch10.5/12, description and technical characteristics of which are given in [6]. Initial data for calculated assessment were obtained in studies [7, 8].

Purpose of the study is calculated assessment of ES level of exploitation process of emergency and rescue PP, based on PICE, with using complex fuel and

ecological criteria on example of autotractor diesel engine 2Ch10.5/12.

Object of the study is ES level of exploitation process of emergency and rescue PP with PICE.

Subject of the study is values of complex fuel and ecological criteria, which describes object of the study.

Tasks of the study is:

1. Analysis of methodic and mathematical apparatus of prof. I.V. Parsadanov complex fuel and ecological criteria.

2. Modification of mathematical apparatus of K_{FE} criteria in order to be able assess its value for the individual representative modes of the diesel operation in its exploitation model.

3. Obtaining the initial data for calculated assessment of K_{FE} criteria values.

4. Calculated assessment of ES level of exploitation process of emergency and rescue PP with PICE on example of autotractor diesel engine 2Ch10.5/12 for regimes of 13-mode standardized steady testing cycle.

5. Analysis of results of the study.

Methods of the study is analysis of specialized science and technical literature, processing of motor bench experimental testing data, calculating of middle exploitation values of technical, economical and ecological diesel engine operational indicators, mathematical apparatus of prof. Parsadanov complex fuel and ecological criteria.

Statement of the problem and its solution. Mathematical apparatus of prof. Parsadanov complex fuel and ecological criteria K_{FE} described in [5] and assumes calculation middle exploitation value, that is, the only for separately taken exploitation model. For separately taken individual representative i -th operational regime of exploitation model it apparatus can be modified and described by following formulas

$$K_{FEi} = \eta_{ei} \cdot (1 - \beta_i) = 3600 / (H_u \cdot g_{ei}) \cdot (1 - Z_{ei} / (Z_{fei})) =$$

$$= 3600 / (H_u \cdot G_{fi} / N_{ei}) \cdot (1 - Z_{ei} / (Z_{fi} + Z_{ei})), \quad (1)$$

$$Z_{fi} = g_{ei} \cdot P_f, \quad (2)$$

$$Z_{ei} = G_{fi} \cdot \delta \cdot \sigma \cdot f \cdot \sum_{m=1}^h (A_k \cdot G_{mki} / G_{fi}) / N_{ei}, \quad (3)$$

$$N_{ei} = M_{spi} \cdot n_{ksi} / 9550, \quad (4)$$

where index i represent i -th operational regime of exploitation model; H_u – motor fuel lower heat of combustion ($H_u = 42,7$ MJ/kg [5]); N_{ei} – diesel engine effective power, kW; G_{fi} – mass hourly fuel consumption by diesel engine, kg/h; G_{mki} – mass hourly pollutant emission with diesel engine EG flow, kg/h; A_m – dimensionless index of relative aggressiveness of m -th pollutant as a EG component ($A_{NOx} = 41,1$; $A_{PM} = 200$; $A_{CnHm} = 3,16$; $A_{CO} = 1,0$ [5]); h – number of legislative normalized pollutants in EG ($h = 4$ [1, 4, 5]); δ – dimensionless index of relative dangerous of pollution for various territories (for vehicle diesel engine $\delta = 1,0$, for tractor diesel engine $\delta = 0,25$ [5]); f – dimensionless coefficient, which taking into account the character of EG dispersion in atmosphere (for Ukraine territory $f = 1,0$ [5]); σ – dimension coefficient for converting scoring assessment of damage in the monetary ($\sigma = P_f$ [5]); WF_i – weight factor operational mode in exploitation model (relative lobar engine run time on i -th polygon of exploitation model); η_e – effective efficiency coefficient of diesel engine; β – coefficient of relative exploitation ecological monetary costs; Z_e , Z_f and Z_{fe} – ecological damage compensation monetary costs, motor fuel monetary costs and total fuel and ecological monetary costs, \$(kW·h); g_e – specific effective mass hourly fuel consumption by diesel engine, kg/(kW·h); P_f – price of motor fuel mass unit (results of choice of monetary equivalents units of K_{FE} criteria components given in [2], $P_f = 0,871$ \$/kg at $P_f = 20,0$ UAH/l, $\rho_f = 0,85$ kg/m³ and currency exchanging course at December 2016 27,0 UAH/\$); M_{spi} – torque of diesel engine, N·m; n_{ksi} – crankshaft speed of diesel engine, min⁻¹.

Formulas (1)–(3) for whole diesel engine exploitation model formed in following formula [5].

$$K_{FE} = \frac{3600}{\sum_{i=1}^z (G_{fi} \cdot \bar{P}_i)} \cdot \frac{H_u \cdot \sum_{i=1}^z (N_{ei} \cdot \bar{P}_i)}{\sum_{i=1}^z (G_{fi} \cdot \bar{P}_i)} \times$$

$$\times \frac{\sum_{i=1}^z (G_{fi} \cdot \bar{P}_i) + \delta \cdot f \cdot \sum_{i=1}^z \left[G_{fi} \cdot \bar{P}_i \cdot \sum_{m=1}^h \frac{A_m \cdot G_{mi}}{G_{fi}} \right]}{\sum_{i=1}^z (G_{fi} \cdot \bar{P}_i)}, \quad (5)$$

$$\eta_{e.me} = 3600 / (H_u \cdot g_{e.me}), \quad (6)$$

$$g_{e.me} = \frac{\sum_{i=1}^z (G_{fi} \cdot WF_i)}{\sum_{i=1}^z (N_{ei} \cdot WF_i)}, \quad (7)$$

$$Z_f = g_{e.me} \cdot P_f, \quad (8)$$

$$Z_e = \frac{\sum_{i=1}^z (G_{fi} \cdot WF_i \cdot U_{Ei})}{\sum_{i=1}^z (N_{ei} \cdot WF_i)}, \quad (9)$$

$$U_{Ei} = \delta \cdot \sigma \cdot f \cdot g_{pri}, \quad (10)$$

$$g_{pri} = \sum_{m=1}^h (A_k \cdot G_{pki} / G_{fi}), \quad (11)$$

where $\eta_{e.me}$ – middle exploitation values of effective efficiency coefficient of diesel engine; $g_{e.me}$ – middle exploitation values of specific effective mass hourly fuel consumption by diesel engine, kg/(kW·h); U_{Ei} – ecological damage compensation monetary valuation, \$/kg; g_{pri} – specific effective mass hourly pollutant emission by diesel engine, kg/(kW·h); Z_e i Z_f – middle exploitation values of ecological damage compensation monetary costs, motor fuel monetary costs, \$(kW·h).

Features of engine test bench and methodic of experimental researches with it, which are used for determination of 2Ch10.5/12 diesel engine and its DPF operational characteristics in articles [1, 7, 8], involves the following activities. Firstly, the G_{PMi} value in kg/h for i -th exploitation mode obtained with using following known conversion formula, which described and grounding in the study [5], depended on value of light flow weakening coefficient in EG probe N_D (indicator of EG opacity), %, unburned hydrocarbons of motor fuel and oil C_{nH_m} volume concentration in EG flow C_{CH} , ppm, mass hourly consumption of fuel and air G_{air} i G_f , kg/h

$$G_{PMi} = \left(2,3 \cdot 10^{-3} \cdot N_{Di} + 5 \cdot 10^{-5} \cdot N_{Di}^2 + \right.$$

$$+ 0,145 \cdot \frac{C_{CHi} \cdot 4,78 \cdot 10^{-7} \cdot (G_{airi} + G_{fi})}{0,7734 \cdot G_{airi} + 0,7239 \cdot G_{fi}} +$$

$$+ 0,33 \cdot \left. \left(\frac{C_{CHi} \cdot 4,78 \cdot 10^{-7} \cdot (G_{airi} + G_{fi})}{0,7734 \cdot G_{airi} + 0,7239 \cdot G_{fi}} \right)^2 \right) \times$$

$$\times \frac{(0,7734 \cdot G_{airi} + 0,7239 \cdot G_{fi})}{1000}. \quad (12)$$

Secondly, values of mass hourly emissions of NO_x , C_nH_m and CO G_{mNOx} , G_{mCH} and G_{mCO} in kg/h converts from experimentally obtained values of volume concentrations in EG probe C_{VNOx} , C_{VCOi} and C_{VCnHmi} in ppm with using methodic in [5] by following formulas, which taking into account correction coefficients of laboratory air humidity F_{NOxi} and F_{COi} .

$$G_{NOxi} = 1,587 \cdot 10^{-3} \cdot C_{VNOxi} \cdot F_{NOxi} \cdot (G_{nani} + G_{noai}), \quad (13)$$

$$G_{COi} = 9,66 \cdot 10^{-4} \cdot C_{VCOi} \cdot F_{COi} \cdot (G_{nani} + G_{noai}), \quad (14)$$

$$G_{CnHmi} = 4,78 \cdot 10^{-4} \cdot C_{VCnHmi} \cdot (G_{nani} + G_{noai}), \quad (15)$$

$$F_{NOxi} = (1 + (0,044 \cdot G_{nani} / G_{noai} - 0,0038) \cdot (7 \cdot d - 75) +$$

$$+ (0,0053 - 0,116 \cdot G_{nani} / G_{noai}) \cdot 1,8 \cdot (T_0 - 302))^{-1}, \quad (16)$$

$$d = 6,21 \cdot \varphi_0 \cdot P_s / (B_0 - 0,01 \cdot \varphi_0 \cdot P_s), \quad (17)$$

$$F_{COi} = 1 - 1,85 \cdot G_{nani} / G_{noai}, \quad (18)$$

$$P_s = 6,1121 \cdot \exp((18,678 - t_0 / 234,5) \cdot t_0 / (257,14 + t_0)), \quad (19)$$

where $d = 5,367$ g/kg – mass concentration of water steam in air; $\varphi_0 = 50$ % – relative air humidity;

$B_0 = 995$ hPa – barometric pressure; $P_s = 17,052$ hPa – water vapor saturated pressure; $t_0 = 15$ °C – temperature of environmental air.

Diesel engine 2Ch10.5/12 is autotractor naturally aspirated two-cylinder in-line four-stroke two-valve air-cooled piston internal combustion engine with internal mixture formation and compression ignition; with traditional trunk-piston axial crankshaft mechanism, cylinder diameter 105 mm, piston stroke 120 mm, piston-rod length 270 mm, working volume 2.0 l, compression ratio 16.5; with nominal power 21.3 kW (at $n_{cs} = 1800$ min⁻¹), maximal torque 111.16 N·m (at $n_{cs} = 1200$ min⁻¹), middle exploitation specific mass hourly fuel consumption 235 g/(kW·h); with direct injection in undivided semispherical combustion chamber in piston by one-plunger high-pressure fuel pump of distributional type with all-regimes mechanical regulator and hydromechanical nozzles; with weight 280 kg, external dimensions 693×687×855 mm; with starting from the starter; made by Vladimir Tractor Plant. It using on tractors, automotive chassis, selecting combines, asphalt and concrete placers, mobile electric welding, water pump and air compressor stations [6].

Parameters of 13-mode standardized steady testing cycle as an autotractor diesel engine exploitation model describing in UNECE Regulations № 49 [4] and shown on Table 1. Legislative established on Ukraine territory requirements to PP with PICE ES level indicators in historical dynamic shown on Tab. 2. [1].

Tab. 1 – Parameters of 13-mode standardized steady testing cycle and its values for diesel engine 2Ch10.5/12 [1, 4, 5]

№ of mode	n_{cs}, min^{-1}		$M_f, \text{N}\cdot\text{m}$		WF
	designation at regime of	value	designation % M_{Tmax}	value	
13-mode cycle					
1	minimal idle	800	0	0	0,25/3
2	maximal torque	1200	2	2,2	0,08
3	maximal torque	1200	25	27,5	0,08
4	maximal torque	1200	50	55	0,08
5	maximal torque	1200	75	82,5	0,08
6	maximal torque	1200	100	110	0,25
7	minimal idle	800	0	0	0,25/3
8	nominal power	1800	100	95	0,10
9	nominal power	1800	75	71,3	0,02
10	nominal power	1800	50	47,5	0,02
11	nominal power	1800	25	23,8	0,02
12	nominal power	1800	2	1,9	0,02
13	minimal idle	800	0	0	0,25/3

Tab. 2 – Legislative established requirements of ecological indicators of diesel engines [1, 4, 5]

EURO level	Year of goes into effect	Specific mass hourly emission of pollutant, g/(kW·h)			
		PM	NO _x	C _n H _m	CO
I	1992	0,612	8,0	1,1	4,5
II	1996	0,25...0,15	7,0	1,1	4,0
III	2000	0,10	5,0	0,66	2,1
IV	2005	0,02	3,5	0,46	1,5
V	2008	0,02	2,0	0,25	1,5
VI	2012	0,01	0,5	0,2	1,0

In monograph [5] K_{FE} criteria values and its components β , Z_e , Z_f and Z_{fe} was assessed for different models of exploitation as a whole, but not for its individual modes. These due to presents in that

exploitation models regimes with zero (idling) and low effective power. For idling regimes $N_{ei} \rightarrow 0$ kW and therefore $\eta_e \rightarrow 0$, $g_e \rightarrow \infty$ kg/(kW·h) and $Z_e, Z_f, Z_{fe} \rightarrow \infty$ \$(/kW·h), $\beta \rightarrow 1$ and $K_{FE} \rightarrow 0$ (see formulas (1) – (3)). For regimes with low effective power K_{FE} criteria values are not informative.

For obtaining opportunities of assessment K_{FE} criteria values for individual regimes of exploitation models in present paper propose the following method. It is necessary to use interpretation of the term “idle run” is not in adopted in engine theory, but in the engine operating practices as a part of the PP. In this case, the on idling run engine produces non zero effective power that is spent on the needs of secondary energy consumers of PP and on providing comfortable working conditions for the PP operator. The first-mentioned case includes charging an electric battery, powering electronic control systems, powering hydraulic and pneumatic servo systems end others. The second-mentioned case includes lighting of workplace and passenger compartment, powering light indicators and control panel, powering air conditioning, multimedia and navigation systems system, end etc.

Then we take the following assumption: the effective power N_{ei} on the idle run regime of engine operating models defined by the formula (4), in which the torque M_{kpi} is equal to 1 % of the maximum diesel torque (110 N·m), and crankshaft speed n_{koi} equal to the crankshaft speed of minimal idling regime (900 min⁻¹), that is for diesel 2Ch10.5/12, it is equal to 46.1 W.

Results of calculated assessment, which based on experimental data obtained in [7, 8] (presented on Fig. 1–3), for autotractor diesel engine 2Ch10.5/12 and, that operates on 13-mode standardized steady testing cycle, shown on Fig. 3 and 5.

From the Fig. 2 and 3 we can see, that that ratio between monetary equivalents of compensation of ecological damage costs Z_e , motor fuel costs Z_f and total fuel and ecological costs Z_{fe} are vary from mode to mode of testing cycle and reaches maximum on modes of minimal idling (modes № 1, 7, 13).

Values of K_{FE} criteria without taking into account weight factor value WF reaches maximum on the mode of nominal power (mode № 8) and with taking into account WF value – on the mode of maximal torque (mode № 6).

Exploitation of diesel engine 2Ch10.5/12 on loading characteristic with crankshaft speed of maximal torque mode (modes № 2–6) by K_{FE} criteria value is less preferred, than its exploitation on loading characteristic with crankshaft speed of nominal power mode (modes № 8–12).

Exploitation of that diesel engine on modes with zero effective power (modes № 1, 7, 13) and also on modes with low effective power (modes № 2, 12) is characterized by extremely low fuel and ecological effectiveness.

Middle exploitation value of K_{FE} criteria (e.i. with taking into account distribution of value WF by modes of testing cycle) is $43.989 \cdot 10^{-3}$, and middle value (e.i. in case of equality of value WF for all modes of model of diesel engine exploitation) is $41.204 \cdot 10^{-3}$.

Conclusions. Thus, in present study describes methodology, modified mathematical apparatus and results of application of prof. Parsadanov complex fuel and ecological criteria and its components.

The study found that ratio between monetary equiva-

lents of criteria components are vary from mode to mode of testing cycle and reaches maximum on minimal idling modes. Values of criteria reaches maximum on the mode of nominal power. Exploitation of diesel engine on loading characteristic with crankshaft speed of maximal torque mode is less preferred, than its exploitation on loading characteristic with crankshaft speed of nominal power mode. Exploitation of that diesel engine on modes with zero and low effective power is characterized by extremely low fuel and ecological effectiveness.

With modified mathematical apparatus can be carried out assessment of ecological safety level of exploitation process of emergency and rescue equipment, which powered with piston ICE of any type, and in what is *practical value* of results of the study. The study carried out using experimental data of motor bench tests on example of autotractor diesel engine 2Ch10.5/12, that operates on 13-mode standardized steady testing cycle both for the whole cycle, and for its individual modes, and in what is *scientific novelty* of results of the study.

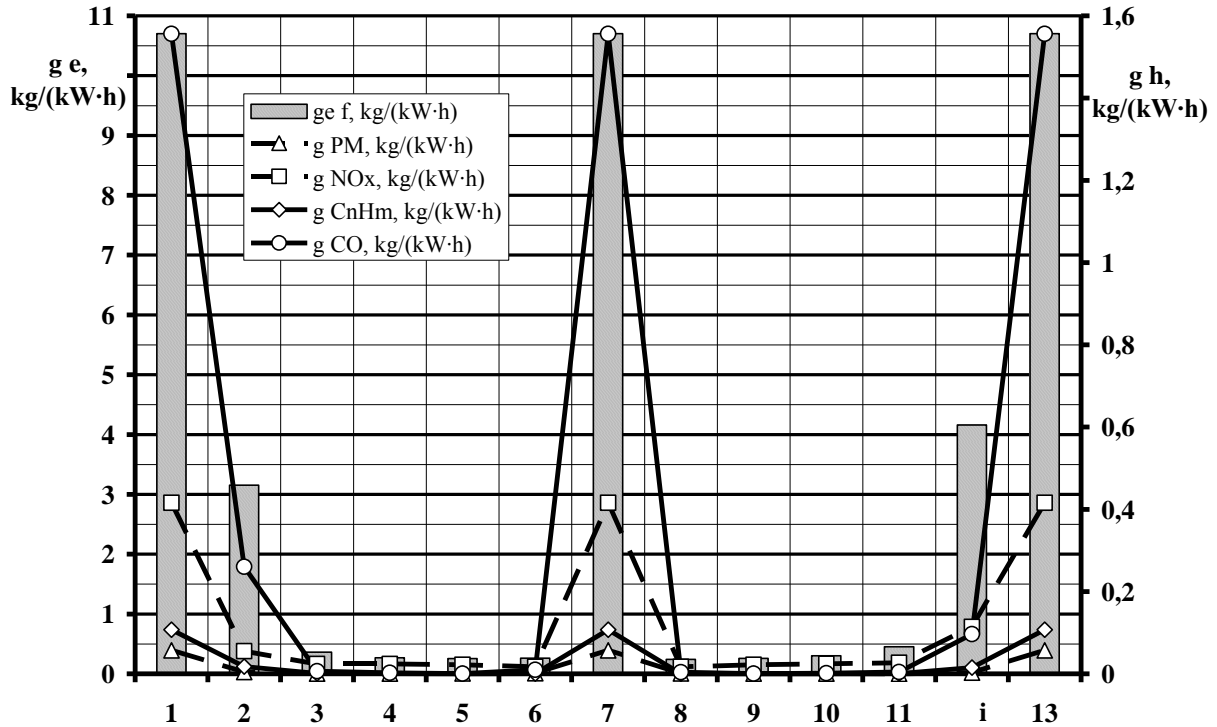


Fig. 1 – Initial data for calculated estimation of values of complex fuel and ecological criteria K_{FE} for diesel engine 2Ch10.5/12 and 13-modes testing cycle, experimentally obtained in [7, 8]

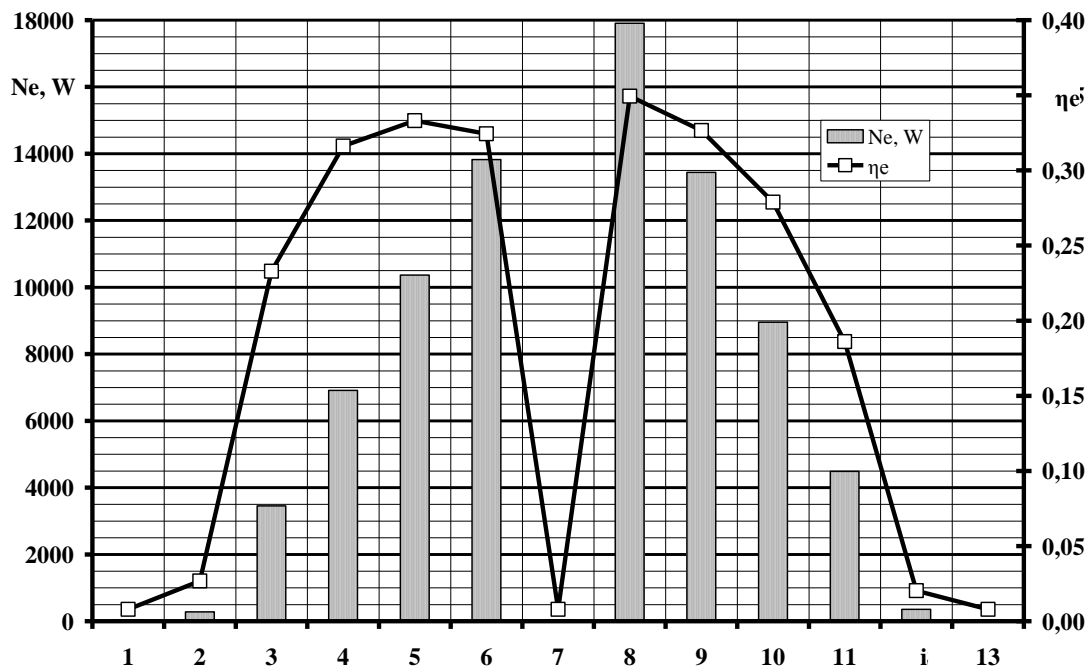


Fig. 2 – Initial data for calculated estimation of values of complex fuel and ecological criteria K_{FE} for diesel engine 2Ch10.5/12 and 13-modes testing cycle, experimentally obtained in [7, 8]

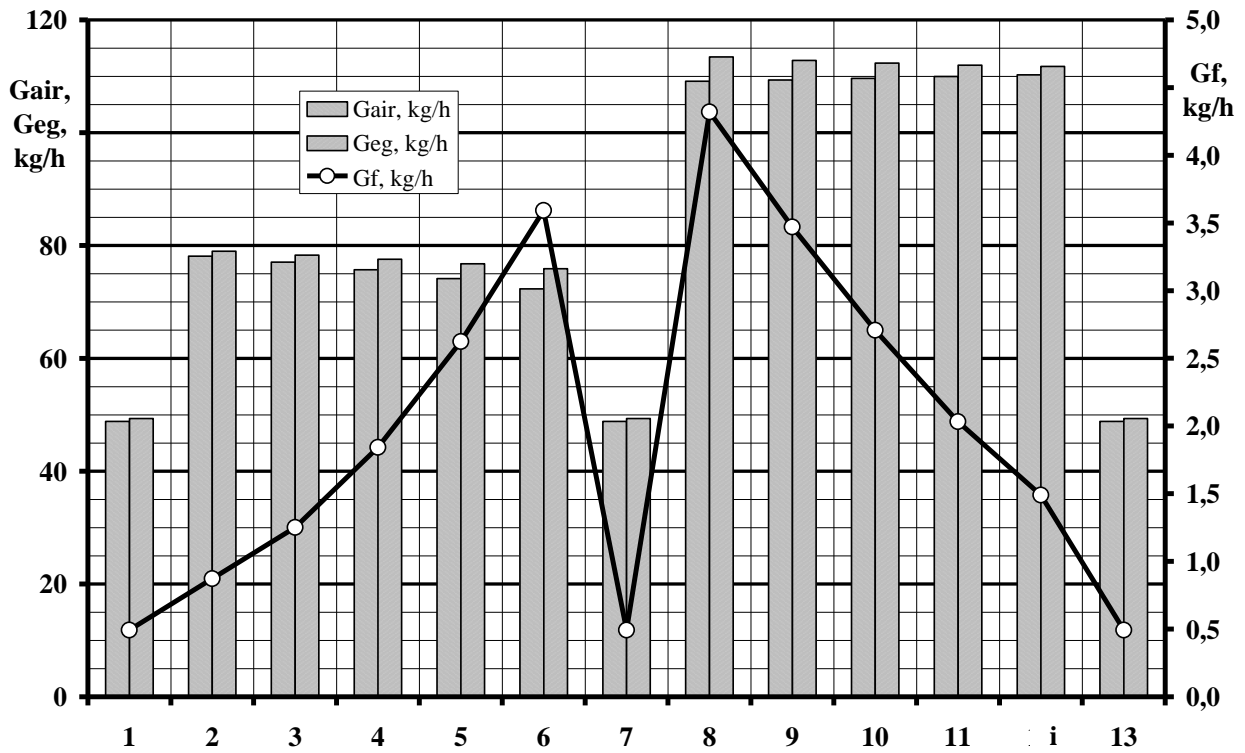


Fig. 3 – Initial data for calculated estimation of values of complex fuel and ecological criteria K_{FE} for diesel engine 2Ch10.5/12 and 13-modes testing cycle, experimentally obtained in [7, 8]

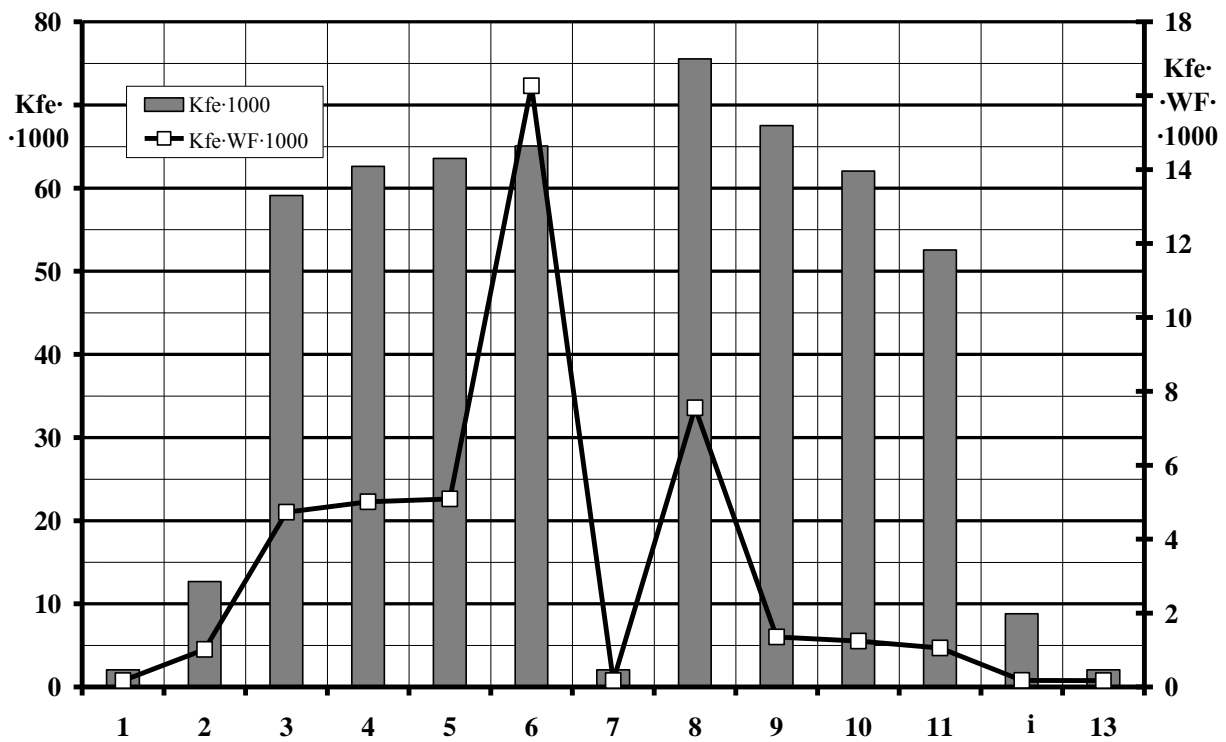


Fig. 4 – Results of calculated quantitative estimation of complex fuel and ecological criteria K_{FE} for diesel engine 2Ch10.5/12 and 13-modes testing cycle

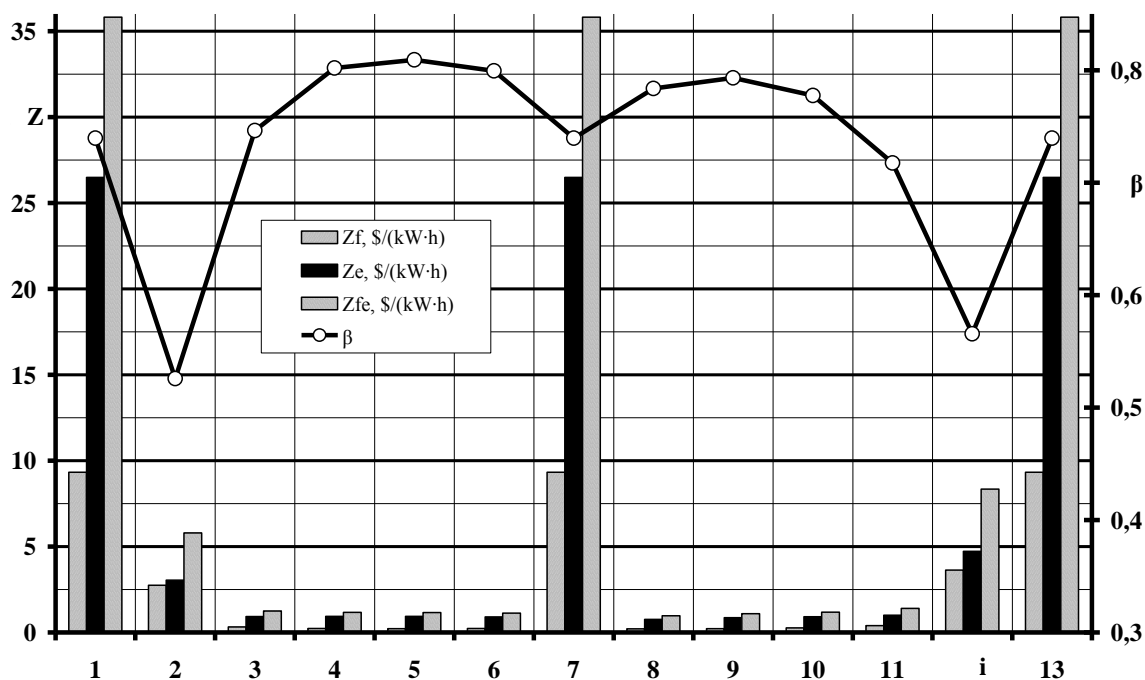


Fig. 5 – Results of calculated quantitative estimation of components of complex fuel and ecological criteria K_{FE} for diesel engine 2Ch10.5/12 and 13-modes testing cycle

REFERENCES

- Vambol S. O., Stokov O. P., Vambol V. V., Kondratenko O. M. (2015), “Modern methods for improving the ecological safety of power plants exploitation: monograph” [Suchasni sposoby pidvyshchenn’a ekologichnoi’ bezpeky ekspluatatsii energetychnykh ustanovok: Monografija], Kharkiv, Publ. Styl-Izdat, 212 p. [in Ukrainian].
- Kondratenko O. M. (2016), “Effectiveness evaluation concept of ecological safety management of power plants with piston ice exploitation process” [Konceptyja ocenki efektyvnosti upravlenija ekologicheskoi’ bezopasnost’ju processa ekspluatatsii energetychnykh ustanovok s porshnevym DVS], Kharkiv, Scientific journal «Internal Combustion Engines», Publ. NTU “KhPI”, № 2, pp. 68–72. [in Russian].
- Vambol S. O., Kondratenko O. M., Vambol V. V., Mietelov O. V. (2016), «Methodological basics of criterial integrated assessment of ecological safety management system functioning efficiency of power plants with piston ICE exploitation process», Kremenchuk, Herald of Ostrogradsry KrNU, Publ. KrNU, № 6 (101), Part 1, pp. 104–110.
- Regulation № 49. Revision 5. Uniform provision concerning the approval of compression ignition (C.I.) and natural gas (NG) engines as well as positive-ignition (P.I.) engines fuelled with liquefied petroleum gas (LPG) and vehicles equipped with C.I. and NG engines and P.I. engines fuelled with LPG, with regard to the emissions of pollutants by the engine. – United Nations Economic and Social Council Economics Commission for Europe Inland Transport Committee Working Party on the Construction of Vehicles. – E/ECE/ TRANS/505. – 4 May 2011. – 194 p.
- Parsadanov I. V. (2003), “Improving the quality and competitiveness of diesel fuel in an integrated and ecological criteria: monograph” [Pidvyshhennja jakosti i konkurentospromozhnosti dyzeliv na osnovi kompleksnogo palyvno-ekologichnogo kryteriju: monografija], Kharkiv, Publ. NTU “KhPI”, 244 p. [in Ukrainian].
- Efros V.V. and etc. (1976), “Diesel engines with air cooling of Vladimdr Tractor Plant” [Dizeli s vozdušnym ohlazhdenijem Bladimirskogo traktornogo zavoda], Moscow, Publ. Mashynostrojenije, 277 p.
- Kondratenko A.N., Stokov A.P., Karasichenko N.M. (2013), “Experimental study of the working layout of the filter element of particulate matter filter for diesel engine with bulk natural zeolite. Part 1” [Eksperimental’noe issledovanie dejstvujushhego maketa fil’trujushchego elementa fil’tra tverdyh chastic dizelja s nasypkoj iz prirodnoho ceolita. Chast’ 1], Internal Combustion Engines: Scientific and Technical Magazine, Kharkov: NTU “KhPI”, no. 1, pp. 88 – 92. [in Russian].
- Kondratenko A.N., Stokov A.P., Khozhainov S.P. (2013), “Experimental study of the working layout of the filter element of particulate matter filter for diesel engine with bulk natural zeolite. Part 2” [Eksperimental’noe issledovanie dejstvujushhego maketa fil’trujushchego elementa fil’tra tverdyh chastic dizelja s nasypkoj iz prirodnoho ceolita. Chast’ 2], Internal Combustion Engines: Scientific and Technical Magazine, Kharkov: NTU “KhPI”, no. 2, pp. 92 – 97. [in Russian].

The article was received by the editorial board 03.03.2017

С. О. Вамболь, О. М. Кондратенко

РЕЗУЛЬТАТИ КОМПЛЕКСНОГО КРИТЕРІАЛЬНОГО ПАЛИВНО-ЕКОЛОГІЧНОГО ОЦІНЮВАННЯ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА 2Ч10,5/12 ДЛЯ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

У цій статті описано методику, модифікований математичний апарат та результати застосування комплексного паливно-екологічного критерію проф. І.В. Парсаданова для оцінювання рівня екологічної безпеки процесу експлуатації аварійно-рятувальної техніки, що живиться поршневим ДВЗ на прикладі автотракторного дизеля 2Ч10,5/12. Дослідження показало, що співвідношення між значеннями вартісних еквівалентів компонентів критерію є змінними по режимах випробувального циклу і сягають максимумів на режимах мінімального холостого ходу. Значення самого критерію сягають максимуму на режимі номінальної потужності. Експлуатація дизеля на навантажувальній характеристиці з частотою обертання колінчастого валу режиму максимального крутного моменту є менш бажаною, аніж його експлуатація на режимах навантажувальній характеристиці з частотою обертання колінчастого валу режиму номінальної потужності. Експлуатація цього дизеля на режимах з нульовою та мінімальною ефективною потужністю характеризується вкрай низькою паливно-екологічною ефективністю. Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що вперше застосовано комплексний паливно-екологічний критерій для автотракторного дизеля 2Ч10,5/12 з використанням експериментальних даних стендових моторних досліджень за окремими режимами 13-режимного стандартизованого стаціонарного випробувального циклу і для всього циклу. Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що з використанням модифікованого математичного апарату стає можливим оцінювання рівня екологічної безпеки процесу експлуатації аварійно-рятувальної техніки, що живиться поршневим ДВЗ будь-якого типу.

Ключові слова: техногенно-екологічна безпека, комплексне критеріальне оцінювання, аварійно-рятувальна техніка, дизельний двигун.

С. А. Вамболь, А. Н. Кондратенко

РЕЗУЛЬТАТИ КОМПЛЕКСНОГО КРИТЕРІАЛЬНОГО ТОПЛИВНО-ЕКОЛОГІЧЕСКОГО ОЦЕНИВАНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ 2Ч10,5/12 ДЛЯ АВАРІЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

В данной статье описана методика, видоизмененный математический аппарат и результаты применения комплексного топливно-экологического критерия проф. И.В. Парсаданова для оценки уровня экологической безопасности процесса эксплуатации аварийно-спасательной техники, оснащенной поршневым ДВС на примере автотракторного дизеля 2Ч10,5/12. Исследование показало, что соотношение между значениями стоимостных эквивалентов компонентов критерия являются переменными по режимам испытательного цикла и достигают максимумов на режимах минимального холостого хода. Значение самого критерия достигают максимума на режиме номинальной мощности. Эксплуатация дизеля на нагрузочной характеристике с частотой вращения коленчатого вала режима максимального крутящего момента менее предпочтительна, чем его эксплуатация на режимах нагрузочной характеристике с частотой вращения коленчатого вала режима номинальной мощности. Эксплуатация этого дизеля на режимах с нулевой и минимальной эффективной мощностью характеризуется крайне низкой топливно-экологической эффективностью. Научная новизна полученных результатов состоит в том, что впервые применен комплексный топливно-экологический критерий для автотракторного дизеля 2Ч10,5/12 с использованием экспериментальных данных стендовых моторных исследований по отдельным режимами 13-режимного стандартизованного стаціонарного испытательного цикла, а также для всего цикла. Практическое значение полученных результатов состоит в том, что с использованием видоизмененного математического аппарата становится возможным оценивание уровня экологической безопасности процесса эксплуатации аварийно-спасательной техники, оснащенной поршневым ДВС любого типа.

Ключевые слова: техногенно-экологическая безопасность, комплексное критеріальное оценивание, аварійно-спасательная техника, дизельный двигатель.

УДК 614.84:504.75

И.Ф. Дадашов, к. т. н., нач. каф.

Академия МЧС Азербайджанской Республики

ул. им. Эльман Гасымова, 8, посёлок Говсан, Сураханский район, г. Баку, Азербайджанская Республика AZ 1089

А.А. Киреев, д. т. н., доцент, профессор каф.

Национальный университет гражданской защиты Украины

ул. Чернышевская, 94, г. Харьков, Украина, 61023

К.В. Жерноклёв, к. х. н., доцент, доцент каф.

Национальный университет гражданской защиты Украины

ул. Чернышевская, 94, г. Харьков, Украина, 61023

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВ ТУШЕНИЯ ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ

Рассмотрены основные характеристики существующих средств тушения горючих жидкостей. Показано, что основным средством тушения горючих жидкостей являются пены. Существенным недостатком огнетушащих пен является присутствие в их составе экологически опасных поверхностно-активных веществ-пенообразователей. Предложены пути снижения экологической опасности средств тушения горючих жидкостей. В качестве изолирующего слоя предложено использовать гелеобразные композиции, содержащие только неорганические вещества 3-го и 4-го классов опасности. В качестве лёгкого носителя, обеспечивающего плавучесть слоя геля, предложено использовать экологически безопасный материал – пеностекло. Экспериментально подтверждена возможность образования на поверхности углеводородной жидкости бинарного слоя пеностекло – гель с высокими изолирующими свойствами.

Ключевые слова: тушение горючих жидкостей, пенообразователи, огнетушащие пены, экологическая опасность, биологически жесткие вещества, класс опасности, гелеобразующие составы, пеностекло.

Постановка проблемы. Тушение горючих жидкостей является одной из сложнейших проблем пожаротушения. Особенно большие трудности вызывает тушение нефти и нефтепродуктов в резервуарных парках. Обычно такие пожары характеризуются повышенной длительностью, необходимостью привлечения большого количества сил и средств пожаротушения, большим материальным ущербом и нередко – человеческими жертвами [1–2]. Существующие средства тушения горючих жидкостей часто не обеспечивают положительный результат даже при полном выполнении нормативных требований [3–4].

Для тушения нефти и нефтепродуктов применяют распыленную и тонкораспыленную воду, порошковые средства, хладоны, газообразную, жидкую и твёрдую углекислоту. В случае воды доминирующим механизмом прекращения горения является охлаждение. Для порошковых средств и хладонов основной вклад в тушение жидкостей вносит эффект ингибирования. Углекислота в основном реализует охлаждающе-разбавляющий механизм прекращения горения. Рассмотренные выше средства пожаротушения обеспечивают положительный результат в случае небольших по размерам резервуаров с горючими жидкостями. При этом имеется возможность создать аэрозольное облако воды или порошка над всей поверхностью горящей жидкости в случае тушения водой и огнетушащим порошком. В случае применения углекислого газа и хладонов можно создать огнетушащую концентрацию соответствующих газов над всем зеркалом горящей жидкости. Если над частью поверхности горящей жидкости не создаётся огнетушащая концентрация аэрозолей или огнетушащего газа, то над этим участком горение

продолжается. После уменьшения концентрации огнетушащих веществ ниже огнетушащей над поверхностями жидкости, где горение первоначально прекратилось, горение возобновляется снова. Для обеспечения одновременного достижения огнетушащей концентрации над всем зеркалом горящей жидкости необходимо подавать огнетушащее вещество с высокой интенсивностью в течение некоторого времени. Это условие трудно обеспечить для резервуаров большого размера.

Наибольшее распространение для тушения горючих жидкостей получили воздушно-механические пены [4]. Они обеспечивают достаточно длительную изоляцию поверхности горящей жидкости от газовой фазы, в которой происходит сам процесс горения. Однако огнетушащие пены имеют ряд недостатков:

- малая устойчивость пен при действии интенсивных тепловых потоков от пламени горящей жидкости и от контакта пены с рядом горючих жидкостей, особенно полярных;

- пены трудно подать на большие расстояния;

- в состав пен входят экологически опасные вещества – пенообразователи.

В состав пенообразователей входят поверхностно-активные вещества (ПАВ). Токсичности и экологической опасности ПАВ посвящено большое количество исследований [5–10]. ПАВ оказывают сложное воздействие на организм человека. В частности отмечается:

- при попадании в организм человека ПАВ скапливаются на клеточных мембранах, покрывая их поверхность тонким слоем, и при определенной концентрации способны вызвать нарушения важнейших биохимических процессов,

протекающих в них, нарушить функцию и саму целостность клетки;

- стимулируют резорбцию веществ в желудочно-кишечном тракте;

- повышают содержание холестерина в крови;

- изменяют экскреторную функцию печени;

- изменяют водный и электролитный балансы организма;

- нарушают биоэнергетику и окислительно-восстановительные процессы в организме;

- создают реальные предпосылки для усиления токсического действия смеси веществ даже в тех случаях, когда эти вещества поступают в организм в недействующих дозах;

- ряд пенообразователей являются «биологически жесткими» веществами (малая скорость биоразложения под действием микроорганизмов).

В качестве огнетушащих веществ допускается использование веществ 3–4-х классов опасности. А к органическим соединениям добавляется еще и требование по их биоразлагаемости – они должны быть «биологически мягкими» [1]. Для большинства ПАВ, используемых в качестве компонентов пенообразователей, декларируется соответствие этим требованиям.

Анализ последних исследований и публикаций. Последние исследования в области токсичности и биоразлагаемости компонентов пенообразователей позволили усомниться в их соответствии экологическим требованиям [11–12]. Так, в работе [11] экспериментально установлено, что фторсинтетические пенообразователи в 150 раз токсичнее «биологически жесткого» пеннообразователя ПО-6К и в 2500 раз стабильнее к биодegradации в окружающей среде. Подтверждением экологической опасности таких пеннообразователей стало решение агентства по охране окружающей среды США объявить программу добровольного прекращения использования таких веществ. После этого фирма «ЗМ», выпускающая пленкообразующие пенообразователи, отказалась от их выпуска.

Последние экспериментальные исследования традиционных синтетических пенообразователей показали, что ранее задекларированные характеристики их токсичности сильно занижены. В работе [12] утверждается, что традиционные анионные пенообразователи обладают ещё большей токсичностью по сравнению с фторсодержащими пенообразователями. С учётом известного факта низкой эффективности традиционных пеннообразователей при тушении горючих жидкостей в резервуарах [1–4] можно заключить, что существующие пенообразователи в значительной степени не удовлетворяют выдвигаемым к ним требованиям по эффективности и экологическим показателям.

Наиболее экологически безопасными огнетушащими средствами, которые можно использовать для тушения горючих жидкостей, являются тонкораспыленная вода и жидкий углекислый газ.

Однако использование их для тушения горючих жидкостей эффективно только для высококипящих жидкостей. Кроме того, целесообразность использования жидкого углекислого газа ограничивается экономическими факторами, так как требует постоянного охлаждения изотермического модуля до температуры минус 20 °С [13].

Одним из путей повышения экологических параметров огнетушащих средств, которые можно использовать при тушении горючих жидкостей, является создание экологически безопасных пенообразователей. В качестве компонентов таких пенообразователей можно использовать природные ПАВ (протеиновые, растительного и животного происхождения). С таких пенообразователей в начале прошлого века и начиналось пенное пожаротушение. В качестве пенообразователей использовались экстракты лакрицы и мыльного корня, продукты переработки крови животных, гидролизаты биомассы. В ряде европейских стран протеиновые пенообразователи, благодаря их высоким экологическим показателям, используются и в настоящее время. Появились сообщения о появлении ряда новых пенообразователей с высокими экологическими характеристиками на основе экстракта хмеля [14]. Однако по своим огнетушащим и экономическим параметрам они существенно уступают применяемым в настоящее время синтетическим пенообразователям. Отсюда можно заключить, что в настоящее время для воздушно-пенных средств пожаротушения возникло противоречие между экологическими и огнетушащими характеристиками.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является выбор пути повышения экологических характеристик средств тушения горючих жидкостей с одновременным обеспечением их высоких огнетушащих характеристик.

Для достижения поставленной цели необходимо решить такие задачи:

- произвести выбор принципиальной схемы огнетушащей системы для борьбы с пожарами с участием горючих жидкостей;

- обосновать выбор доминирующих механизмов прекращения горения, обеспечивающих быстрое и долговременное создание условий прекращения горения;

- осуществить выбор экологически безопасных компонентов огнетушащей системы.

При тушении горючих жидкостей нужно обеспечить не только прекращение горения, но и создать условия, обеспечивающие длительное недопущение повторного воспламенения. В отличие от тушения большинства твердых горючих материалов, создать такие условия только охлаждением поверхности жидкости до температуры окружающей среды практически невозможно, так как температуры воспламенения легкокипящих жидкостей часто оказываются ниже температуры окружающей среды. Например, температура воспламенения бензина составляет от минус 10 °С до минус 44 °С [15]. Поэтому такие жидкости легко повторно воспламеняются даже от мало

энергетичных источников, например от нагретой стенки потушенного резервуара.

Поэтому наиболее рациональным способом создания условий длительного отсутствия воспламенения паров горючей жидкости является изоляция её поверхности. Высокие изолирующие свойства обеспечивают гелеобразные слои, которые образуются при использовании гелеобразующих огнетушащих систем (ГОС). ГОС были ранее предложены для тушения твердых горючих материалов [16]. ГОС представляют собой бинарную систему, состоящую из двух отдельно хранимых и отдельно одновременно подаваемых составов. Оба состава являются водными растворами, что облегчает хранение и подачу их в зону горения, а также одновременное высокое охлаждающее действие благодаря наличию в их составе воды – вещества с уникально высоким охлаждающим действием. Составы должны быть подобраны так, чтобы при их смешении на границе «горючее вещество – воздух» между компонентами происходило взаимодействие, приводящее к быстрому образованию нетекучего гелеобразного слоя.

Такие системы хорошо себя зарекомендовали при тушении твердых горючих материалов. Всего было предложено 35 гелеобразующих систем [17]. Наилучшие огнезащитные характеристики показали ГОС с гелеобразователем жидким стеклом ($\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$). В качестве катализаторов гелеобразования в таких системах были предложены некоторые соли.

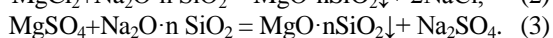
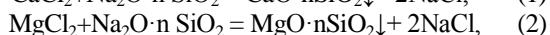
В табл. 1 приведены основные продукты реакции между гелеобразователем и катализатором гелеобразования и минимальные концентрации компонентов некоторых ГОС, которые обеспечивают быстрое гелеобразование и в наибольшей степени отвечают сформулированным требованиям.

Во всех случаях в качестве гелеобразователя используются водные растворы жидкого стекла, которое относится к 3-му классу опасности. Жидкое стекло выпускается промышленностью в больших количествах. Оно используется в качестве вяжущего, ингибитора коррозии сплавов железа, как основной компонент силикатного клея, сырья для получения

других силикатов и силикагеля.

Ранее были изучены прочностные свойства гелеобразных слоёв, полученных с использованием различных катализаторов гелеобразования [17]. По этой характеристике наилучшие результаты показали ГОС № 1–3. В них в качестве катализаторов гелеобразования используются водные растворы солей кальция и магния CaCl_2 , MgCl_2 , MgSO_4 с концентрациями (3–4) масс.%. Характер среды этих катализаторов гелеобразования слабокислый ($\text{pH} \approx 5$), а сами соли относятся к 3-му и 4-му классам опасности.

Для оценки экологической безопасности огнетушащей системы важным является характеристика продуктов взаимодействия компонентов ГОС. Ниже приведены соответствующие уравнения химических реакций:



Как видно из уравнений 1–3 продуктами реакций являются нерастворимые полисиликаты кальция и магния, сульфат магния и хлорид натрия. Эти вещества относятся к 3-му и 4-му классам опасности, а их суммарное содержание в гидрогеле может не превышать 4 мас. %. Таким образом, в предложенной огнетушащей системе используются только вещества 3-го и 4-го класса опасности с концентрациями до 4 мас. %.

Здесь также необходимо отметить, что все компоненты ГОС являются веществами нерастворимыми в углеводородных горючих жидкостях. Этот факт важен для переработчиков нефти и нефтепродуктов, так как компоненты предложенной огнетушащей системы не загрязняют соответствующие жидкости, что облегчает их дальнейшую переработку и использование. Однако непосредственно использовать ГОС для тушения горючих жидкостей невозможно, так как гель тонет в большинстве горючих жидкостей.

Табл. 1 – Значения минимальных концентраций компонентов гелеобразующей системы – полисиликата натрия (ω_1) и катализаторов гелеобразования (ω_2), вызывающих быстрое гелеобразование и состав основного продукта их взаимодействия

№	Катализатор гелеобразования	Основной продукт реакции	ω_1 , %	ω_2 , %
1.	CaCl_2	$\text{CaO} \cdot n\text{SiO}_2$	3	3
2.	MgCl_2	$\text{MgO} \cdot n\text{SiO}_2$	5	4
3.	MgSO_4	$\text{MgO} \cdot n\text{SiO}_2$	5	4
4.	FeSO_4	$\text{FeO} \cdot n\text{SiO}_2$	5	4
5.	K_2CO_3	H_2SiO_3	25	40
6.	AlCl_3	$2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3n\text{SiO}_2$	3,5	3
7.	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	$2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3n\text{SiO}_2$	4	3
8.	NH_4Cl	H_2SiO_3	8	8
9.	NH_4Br	H_2SiO_3	8	10
10.	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	H_2SiO_3	8	12
11.	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	H_2SiO_3	12	6+6
12.	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	H_2SiO_3	12	13
13.	AlBr_3	$2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3n\text{SiO}_2$	3	4

Для решения проблемы положительной плавучести гелеобразных слоёв необходимо либо уменьшить плотность гелеобразного слоя, либо подобрать легкий носитель для слоя геля, на котором он будет формироваться.

Попытки получить газонаполненный гель путем совмещения газообразующих реакций и процесса гелеобразования не дали положительных результатов [18]. Несколько лучшие результаты дало нанесение слоя геля на поверхность пены. Однако и в этом случае максимальное время плавучести геля не превышало 15 минут.

Положительные результаты дали опыты по формированию слоя геля на поверхности сплошного слоя пористых гранулированных неорганических материалов, таких как вспученные перлит и вермикулит, пеностекло и керамзит [19]. Причём в случае применения некоторых видов пеностекла и керамзита образовавшийся бинарный слой оставался стабильным на поверхности бензина более 10 суток. На основании анализа комплекса свойств, включающих и экологические параметры, в качестве легкого носителя было выбрано

гранулированное пеностекло. Пеностекло – это негорючий, нелетучий, экологически безопасный материал, который разрешен к использованию как утеплитель в жилищном строительстве.

Выводы. Для тушения горючих жидкостей предложено использовать гелеобразующие огнетушащие системы, которые в качестве компонентов содержат экологически безопасные неорганические вещества. В предложенной системе реализуется в качестве доминирующего механизма прекращения горения изоляция, а в качестве сопутствующего – охлаждение.

В качестве катализаторов гелеобразования ГОС предложено использовать хлориды кальция и магния, а также сульфат магния.

В качестве лёгкого носителя, обеспечивающего плавучесть огнетушащего слоя геля на поверхности горючей жидкости, предложено использовать экологически безопасный материал – пеностекло. Экспериментально подтверждена возможность образования на поверхности углеводородной жидкости бинарного слоя «пеностекло – гель с высокими изолирующими свойствами».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вогнегасні речовини : посібник / [Антонов А. В., Боровиков В. О., Орел В. П. та ін.]. – К. : Пожінформтехніка, 2004. – 176 с.
2. Шараварников А. С. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов. / А. Ф. Шараварников, В. П. Молчанов, С. С. Воевода, С. А. Шараварников. – М. : Калан, 2002. – 448 с.
3. Боровиков В. Гасіння пожеж у резервуарах для зберігання нафти та нафтопродуктів / В. Боровиков // Пожежна та техногенна безпека. – 2015.– №11(26). – С. 28–29.
4. Ковалишин В. В. Пінне гасіння / В. В. Ковалишин, О. Е. Васильєва, Н. М. Козяр. – Львів : СПОЛОМ, 2007. – С. 137–138.
5. Ivanković T. Surfactants in the environment / T. Ivanković, J. Hrenović // Arh. Hig. Rad. Toksikol. – 2010. – Vol. 61. – № 1. – P. 95–110.
6. Olkowska E. Analytics of surfactants in the environment: problems and challenges / E. Olkowska, Ž. Polkowska, J. Namieśnik // Chem. Rev. – 2011. – Vol. 111. – № 9. – P. 5667– 5700.
7. Scott M. J. The biodegradation of surfactants in the environment / M. J. Scott, M. N. Jones // Biochim. Biophys. Acta. – 2000. – Vol. 1508. – № 1-2. – P. 235–251.
8. Ying G. G. Fate, behavior and effects of surfactants and their degradation products in the environment / G. G. Ying // Environ. Int. – 2006. – Vol. 32. – № 3. – P. 417–431.
9. Щербань Н. Г. Биохимические механизмы нарушений в организме теплокровных под воздействием химических соединений / Н. Г. Щербань // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Харьков: Технологический центр. – 2012. – № 5/6 (59). – С. 29–33.
10. Щербань Н.Г. Биохимические аспекты экологической патологии, связанной с химическим загрязнением поверхностных источников водоснабжения / Н. Г.Щербань, Жуков В. И., Мясоедов В. В.; под общ. ред. Н. Г.Щербаня. – Харьков, 2011. – 175 с.
11. Бочаров В. В. Использование перфторированных ПАВ в пенообразователях – «второе пришествие». Галогенорганика с наихудшим сценарием развития для обитателей земли / В. В. Бочаров, М. В. Раевская // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – Т.22. – №10. – С. 75–82.
12. Безродный И. Ф. Экология пожаротушения – пока это только слова / И. Ф. Безродный // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – Т.22.– №6.– С. 85–90.
13. Грошев А. Д. Преимущество установок пожаротушения диоксидом углерода при ликвидации горения в резервуарах с нефтепродуктами / А. Д. Грошев, И. И. Переславцева // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. – Т.25.– №2.– С. 69–75.
- 14 Пат 2452544 Российская Федерация, МПК А62Д 1/02 (2006/01). Пенообразующий состав термостойкой пены на основе хмеля / Тайсумов Х. А.; заявитель и патентообладатель. – № 2011105291/05 ; заявл. 15.02.11., опубл. 10.06.12, Бюл. № 23.
15. Баратов А. Н. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов и средства их тушения, кн. 1 / А. Н. Баратов, А. Я. Корольченко, Г. Н. Кравчук. – М.: Химия, 1990.– 496 с.
16. Пат. 2264242 Российская Федерация, МПК⁷ А 62 С 5 / 033. Способ тушения пожара и состав для его осуществления / Борисов П. Ф., Росоха В. Е., Абрамов Ю. А., Киреев А. А., Бабенко А. В. ; заявитель и

патентообладатель Академия пожарной безопасности Украины. – №2003237256 / 12 ; заявл. 23.12.2003 ; опубл. 20.11.10.2005, Бюл. № 32.

17. Абрамов Ю. А. Гелеобразующие огнетушащие и огнезащитные средства повышенной эффективности применительно к пожарам класса А / Ю. А. Абрамов, А. А. Киреев. – Харьков. : НУГЗУ, 2015. – 254 с.

18. Киреев А. А. Исследование пенообразования в пенообразующих системах [Электронный ресурс] / Киреев А. А., Коленов А. Н. // Проблемы пожарной безопасности. – 2009. – Вып.25. – С.59–64. – Режим доступа : <http://nuczu.edu.ua/files/ppb/ppb29.pdf>.

19. Дадашов И. Ф. Выбор лёгкого силикатного носителя для гелевого огнетушащего слоя при пожаротушении / И. Ф. Дадашов, Л. А. Михеенко, А. А. Киреев, // Керамика: наука и жизнь. – 2016. – № 2 (31). – С.44–51.

Статья поступила в редакцию 10.03.2017

І. Ф. Дадашов, О.О. Кірсєв, К. В. Жернокльов

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАСОБІВ ГАСІННЯ ГОРЮЧИХ РІДИН

Розглянуто основні характеристики існуючих засобів гасіння горючих рідин. Показано, що основним засобом гасіння горючих рідин є піни. Істотним недоліком вогнегасних пін є наявність в їх складі екологічно небезпечних поверхнево-активних речовин-піноутворювачів. Запропоновано шляхи зниження екологічної небезпеки засобів гасіння горючих рідин. Як ізолюючий шар запропоновано використовувати гелеподібні композиції, що містять тільки неорганічні речовини 3-го та 4-го класів небезпеки. Як легкий носій, що забезпечує плавучість шару, гелю запропоновано використовувати екологічно безпечний матеріал – піноскло. Експериментально підтверджено можливість утворення на поверхні вуглеводневої рідини бінарного шару піноскло - гель з високими ізолюючими властивостями.

Ключові слова: гасіння горючих рідин, піноутворювачі, вогнегасні піни, екологічна небезпека, біологічно жорсткі речовини, клас небезпеки, гелеутворюючі складки, піноскло.

I. Dadashov, A. Kireev, K. Zhernoklov

WAYS TO IMPROVE THE ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS OF EXTINGUISHING MEDIUM FOR FIRE FIGHTING OF COMBUSTIBLE LIQUIDS

The main extinguishing medium characteristics of suppression of combustible liquids were considered. It is shown that the foam is the primary means of extinguishing of combustible liquids. A significant drawback of fire extinguishing foams is the presence in their composition environmentally hazardous surfactants. Ways of reducing the environmental hazard means extinguish combustible liquid were propose. The insulating layer is proposed to use gel formulations containing only inorganic substances 3 and 4 hazard classes. As a light carrier, providing buoyancy of the gel layer is proposed to use environmentally friendly material - foam glass. Experimentally confirmed the possibility of forming on the surface of the hydrocarbon liquid binary layer foam glass - gel with high insulating properties.

Keywords: extinguishing of combustible liquids, foaming agents, extinguishing foam, the ecological danger, biologically hard substances, hazard class, gelling composition, foam glass.

УДК 504:620.3

I. Bogdanov, DSc, Professor
 Berdyansk State Pedagogical University
 Schmidt str., 4, Berdyansk, Zaporizhia region, Ukraine, 71100
V. Vambol, DSc, Associate Professor, Professor of Department
 National University of Civil Protection of Ukraine
 Chernishevskaya str., 94, Kharkiv, Ukraine, 61000
Y. Suchikova, PhD, Associate Professor
 National University of Civil Protection of Ukraine
 Chernishevskaya str., 94, Kharkiv, Ukraine, 61000

THE IMPROVEMENT ENVIRONMENTAL SAFETY OF NANOMATERIALS BY MEANS OF ENVIRONMENTAL ASSESSMENT

The article presents the recommendations for environmental assessment of nanoproducts. There have been worked out the scheme of porous gallium arsenide lifecycle. The method of forming of porous layers of gallium arsenide has been improved. There have been done the expertise of por-GaAs and structures on its base - gallium nitride. It was found that porous gallium arsenide may be health hazardous. Porous gallium nitride is formed by the method of electrochemical etching in the solutions of acids. Such methods of synthesis of nanostructures pose an ecological threat. Understanding these threats will optimize the processes of formation and operation of nanomaterials for ecological safety.

Keywords: ecological safety, nanomaterials, porous gallium arsenide, life cycle.

Problem statement. Nanotechnologies have become strategic industrial and scientific direction. In many areas of science and technology, there is a great interest in the products of nanotechnology, which is associated with the real possibility of practical implementation of their unique properties [1–4].

Nanotechnologies traditionally include designs, in which materials and systems are used that meet three criteria (fig. 1). The penetration of products of nanotechnologies into the environment can lead to many consequences, which are currently impossible to predict due to the lack of information. However, information about the consequences of the uncontrolled emission of nanoparticles in the environment remains quite scarce.

Exists the need to search for the ways to provide ecological safety of nanotechnology products throughout their life cycle for their further using.

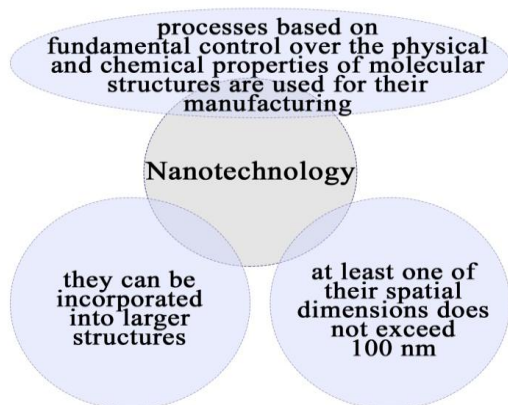


Fig. 1 – Nanotechnology criteria

Analysis of the recent researches and publications. Widespread implementation of nanotechnologies in industry is predetermined by a number of factors (fig. 2). Nanoindustry develops rapidly and, due to this, attraction of investment from

government and businesses to this sector is growing around the world.

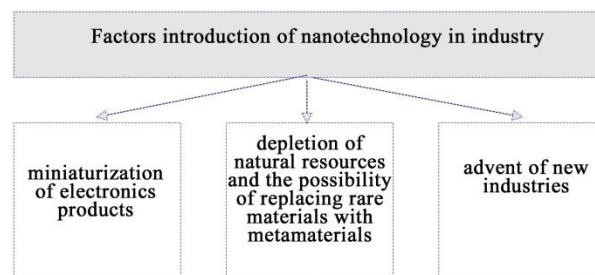


Fig. 2. – Factors introduction of nanotechnology in industry

At the same time, more and more researchers acknowledge that the use of nanomaterials may pose a danger to human health and environment [5, 6].

Studies have shown that the quality of nanomaterials, which make them popular, may pose a potential ecological threat [7].

With this in mind, paper [8] proposes to conduct analysis of nanotechnologies with regard to four principles (fig. 3).

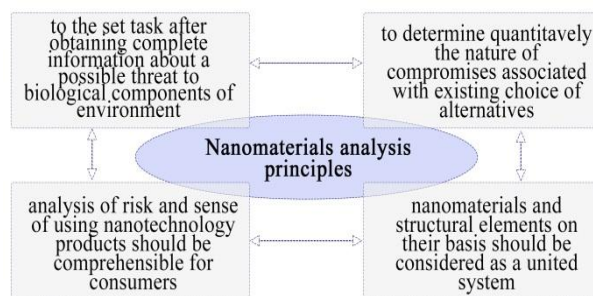


Fig. 3 – Nanomaterials analysis principles

In paper [9], authors demonstrate that standard toxicological methods cannot be applied to determine the hazards of nanomaterials: the properties of the latter are caused not by concentration in the volume of material, but rather by its quantodimensional properties.

Many scientists point to potential dangers of nanotechnology products for the environment. However, there is no unified approach to determining the extent of danger of nanomaterials. Methods for detecting this danger at different stages of synthesis and the use of nanoindustry products have not been determined up to now, nor have been explored the problems of ecological safety of nanotechnology application.

Statement of the problem and its solution.

Conducted studies were aimed at searching for the ways of providing ecological safety for nanotechnology

products throughout their life cycle.

A comprehensive research into the risks of using nanomaterials and controlling their impact on the environment and the human body is a long-lasting and scientifically complicated process. In addition, there are no sufficient data on the toxicity of large quantities of nanomaterials and labeling and passports have not been developed for most of them. That is why we will focus only on general types of nanoindustry influence on the ecosystem and humans.

To do this, one must clearly understand that nanomaterials may pose a danger not only in the course of their usage, but at all stages of their life cycle, the simplified schematic of which is shown in tab. 1. A manufacturer must provide full information on the nanomaterial according to the procedure shown in tab. 2.

Tab. 1 – Schematic of life cycle of nanomaterials

№ Stage	Title Stage	Characteristic
Stage 1	extraction and production of raw materials from nanomaterials	one should consider substances of which the nanoproduct is made
Stage 2	production of nanomaterials	is directly related to the methods of synthesis of nanomaterials
Stage 3	storage and packaging	it is necessary to take into consideration specific features of materials
Stage 4	reclamation and wastes of nanomaterials	testing and identifying the quality and suitability of nano- raw materials for later use is carried out
Stage 5	usage of nanomaterials	research should be comprehensive, taking into account not only physical and chemical characteristics of substances, but also behavior of the whole product and its components during the operation period
Stage 6	production of nanomaterials products	it should be taken into consideration that nanomaterial exists as a component of the product, which is why its separation is impossible in many cases. Then the reclamation of the entire product is necessary

Tab. 2 – Recommended procedure to control nanomaterials

1	Product name	product name must correspond exactly to the one indicated on the label; form
2	Usage area	technological purpose (raw material, intermediate product, purpose-oriented product, etc.)
3	Information about manufacturer	full official name, address, telephone, fax, e-mail address, site (if available)
4	Nanoparticles content in material composition	mass or/and number of particles on conversion to mass/ volume unit of product
5	Chemical composition	by systematic or trivial nomenclature, formula, molecular weight
6	Average dimensions of particles	specific surface on conversion to distribution of particles by dimensions
7	Content of cancerogens	according to hygienic norms
8	Impurities	composition, concentration
9	Solubility	in water, lipid and different media
10	Methods of research	provide the proof of existence of nanoparticles in the product or classification as nanomaterial
11	Method of obtaining nanomaterials	by dispersion, by condensation from gas phase, solubility methods, other
12	Hazard class of product	according to GOST (State Standard) 12.1.007–76
13	Possible technogenic risks	if any
14	Toxicological and hygienic characteristics	general toxic and irritation action, allergenicity, cancerogenicity, mutagenicity
15	Impact on environment	migration to ecological objects, stability, biodegradability
16	Rules of handling and storage	which exclude possibility of non-sanctioned influence of product and its components
17	Reclamation	procedure of safe neutralization, utilization and disposal of nanoindustry products
18	Standardizing and legislative provision	information on legislation in field of rules of safe production, circulation and utilization

Specific properties of nanomaterials may vary for each individual case, even with the same chemical formula and method of obtaining. In addition, most indicators are defined not for all substances, and this definition is often impossible because of the lack of necessary equipment or even a method of definition.

As an experimental nanomaterial, we selected porous gallium arsenide (por-GaAs), which was obtained on the substrate of monocrystalline gallium arsenide by the method of photoelectrochemical etching.

Given the general scheme of nanomaterial life cycle, it is expedient to compose LCA of por-GaAs and of the product based on it (fig. 4). We will accept gallium nitride (GaN/por-GaAs).

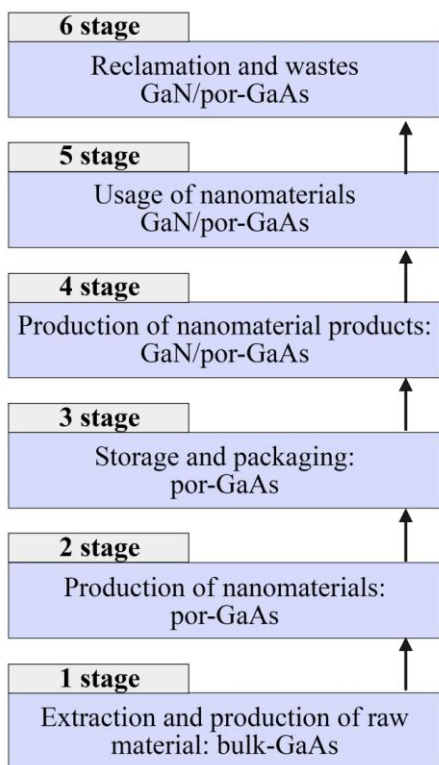


Fig. 4 – Life cycle of porous gallium arsenide and gallium nitride based on it

Stage 1 «Extraction and production of raw material bulk-GaAs»

Porous gallium arsenide is made at the surface of monocrystalline gallium arsenide (mono- GaAs or bulk- GaAs). In its turn, monocrystalline gallium arsenide is made by the Chokhralsky.

There are some data on cancerogenity of gallium arsenide: according to the website of U.S. National Library of Medicine, indium phosphide is classified as a substance, probably cancerogenic to humans (Group 2A) [10]. In view of the foregoing, the plates of gallium arsenide should be accompanied by a danger pictogram «Health hazard».

However, it should be taken into account that gallium arsenide is usually presented in the form of crystalline plates that are thermodynamically and electrically stable in the air. So we can assume that

the plates themselves do not pose a threat to life and health.

Stage 2 «Production of nanomaterials por-GaAs»

For the experiment, we selected 10 monocrystalline plates of n-type gallium arsenide, alloyed with sulfur. Porous surface was formed in electrochemical cell with solution of hydrochloric acid. Current density during the treatment was selected in the range of 80–180 mA/cm², at etching time of 5–10 min.

Given the fact that the solutions of acids are used for the formation of porous layers, it can be argued that this technology is not safe for human health. That is why this experiment should be carried out with the use of means of collective and individual protection. The used electrolyte must be disposed of according to valid legislation requirements.

As a result, a porous layer with tightly packed pores was formed at the surface (fig. 5). Porous structure is a nanomaterial, consisting of deep cylindrical holes – pores and walls between them – quantum wires.

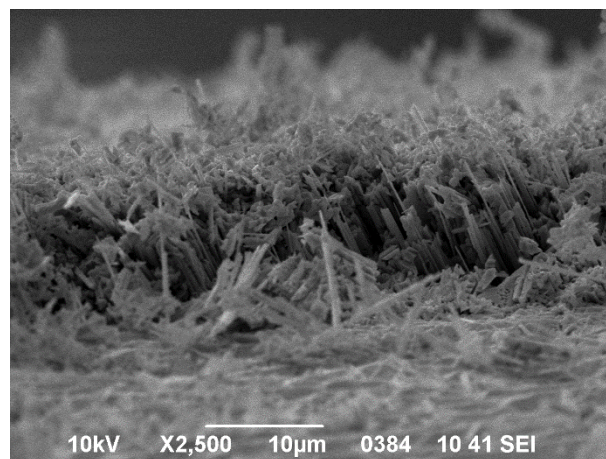


Fig. 5 – SEM image of por-GaAs (100): 10 % HCl, j=120 mA/cm², t=5m

By the results of scanning electronic microscopy, it is possible to establish that dimensions of pores reach 80 nm on average. This indicates that this structure is mezoporous. Dimensions of walls between the pores are within (20–60) nm (Fig. 6).

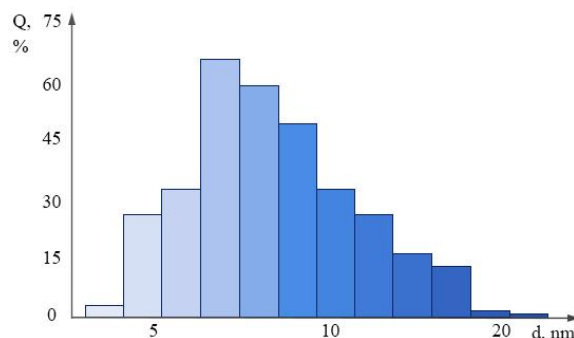


Fig. 6 – Distribution of quantum wires by dimensions: Q is the share of particles, %; d – dimensions of particles, nm

Porosity of the obtained layers varies from 30 to 80 %. Fluctuation of surface porosity is caused by uneven concentration non-uniformity of distribution of impurity in the volume of ingot, which occurs during the crystal growth.

Chemical composition of porous samples was assessed using the EDAX method (fig. 7). Based on results of these data, it may be concluded that the oxide film was not formed at the surface of porous por-GaAs, the existence of elements that make up the etcher was not observed either.

The top layer may shear off even in the contact with hands, forming a nanodispersed powder, which is a real threat to human health – such nanoparticles easily get into the respiratory tract and penetrate the skin.

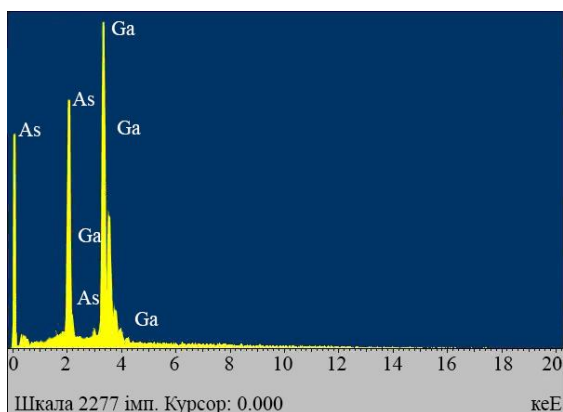


Fig. 7 – Chemical composition of elements at the surface of por- GaAs

Stage 3 «Storage and packaging of por-GaAs»

A specific feature of por-GaAs is its ability of "ageing" in the open air. The surface of porous layers of gallium arsenide under normal conditions of storage is covered by the oxide layer. Chemical analysis of the surface of porous GaAs revealed violations of stoichiometry of the original crystal. Oxygen atoms emerged at the surface of the sample (tab. 3). It indicates creation of proper oxides of GaAs.

Tab. 3 – Percentage content of elements at the surface of porous n- GaAs, obtained with the help of EDAX method

Spectrum	Component		
	O	As	Ga
Spectrum 1	17.48	22.10	60.42
Spectrum 2	5.76	22.36	71.88
Spectrum 3	13.80	22.10	64.10

Porous surface is characterized by high density of surface states in the forbidden zone, which leads to fixing of the Fermi level, the position of which at the surface practically does not depend on the nature of adsorbed atoms [11]. This circumstance negatively affects the work of many micro- and optoelectronic devices, preventing complete revealing high potential abilities of these semiconductors. To eliminate undesirable surface influence on the properties of

devices, the technique called "passivation" is actively developing in technology, within which a variety of methods of surface treatment, related to applying coverings on it, are designed [12].

At chemical passivation, an oxide layer is removed from the surface of semiconductor, instead of which a thin crystalline film of chemically inert material is formed. This film can perform the functions of a superfine buffer layer and protect surface of the semiconductor from contact with aggressive components of the environment [13].

The layers of porous GaAs were kept in the Na₂S solution for 20 min. During chalcogenide por-GaAs passivation the oxide layer is removed, a thin crystalline film of chemically and electrically inert material is formed instead of it. These nanomaterials may be stored under normal conditions in a special container, avoiding contact with aggressive substances.

Stage 4 «Production of nanomaterial products GaN/por-GaAs»

Thin films of gallium nitride on the substrate of porous gallium arsenide were obtained by the method of ray-radical epitaxy. The main difference of this method from the traditional epitaxy is that one component comes with gas phase (atomic nitrogen), and the other (gallium) is obtained from the volume of the crystal [14]. As atomic nitrogen, especially pure ammonia is used, which passes through the high-frequency discharge, resulting in atomic nitrogen, which is a chemically active. A stream of atomic nitrogen gets on the crystal of gallium arsenide. It results in the process of conversion of surface layers. At the surface of porous GaAs, thin GaN films emerge (fig. 8). A film of gallium nitride is formed with the violation of stoichiometry toward gallium.

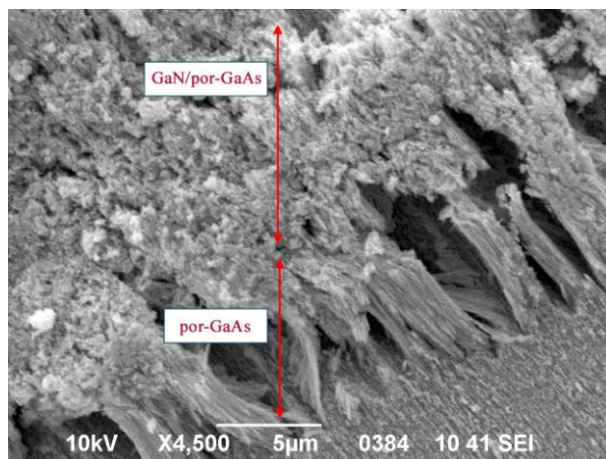


Fig. 8 – GaN film is formed at the surface of por-GaAs by the method of radical-beam epitaxy

Gallium nitride may cause irritation of skin and eyes, pain in joints and bones, tooth decay, nervous and gastrointestinal disorders, pain in the heart and the overall weakness [15]. Acute and chronic toxicity of this substance are not known enough. Given high thermodynamic, electrical and chemical stability of indium nitride, it can be argued that its crystals may be considered conditionally safe under normal conditions.

Stage 5 «Usage of nanomaterials»

The structures, based on nitrides of the third group, have a predicted operation life of about 5 years [16, 17]. In this context, we imply retaining all electro-physical indicators at the output level. This is followed by a slow degradation of the structure surface. GaN/GaAs is used as a raw material for solar cells whose operation life is 20 years.

Stage 6 «Reclamation and wastes»

As was noted above, the original nanomaterial is used as a raw material for products and devices, the reclamation of which is recommended to conduct with the "hazardous wastes" label [18, 19]. Currently, there is a limited number of studies, devoted to the recycling of nanomaterials, and, until sufficient data are collected, such materials should be treated as hazardous [20].

The analysis, presented above, of quality control of gallium arsenide at all stages of the life cycle allows making up a control card of por-GaAs (fig. 9) according to the procedure, presented in table 2. To identify the possible danger of nanoproduct, it is necessary to evaluate its indicators from its design stage to the reclamation stage. This approach might be applied in the analysis of other nanomaterials, taking into account their specific features.

Methods of measurement of parameters and properties of nanostructures is a fixed set of operations and regulations, compliance with which provides obtaining measurement results with guaranteed accuracy according to the adopted method. One may say that the method of measurement is the technology of measurement process. However, most methods are still at the stage of development and do not allow providing full control of quality and safety of nanomaterials.

Conclusions. A scheme of the life cycle of por-GaAs was developed, which should be considered as a multi-stage process from the preparation of source material to the reclamation. The methods for controlling quality and safety of porous gallium arsenide and GaN based on them were presented. It is necessary to exercise control at every stage of the lifecycle using appropriate techniques and methods of research. It was found that porous gallium arsenide is dangerous for health material.

Acknowledgement. Present study was conducted within the framework of the scientific state-funded research «Nanostructured semiconductors for power efficient ecologically friendly technologies that increase power efficiency and ecological safety of the urbosystem» (State registration number 0116U006961).

Product name	Porous gallium arsenide (por-GaAs)
Method of obtaining	Electrochemical etching in solutions
Hazard class	Not regulated
Possible technogenic risks	Information is not available
Toxicological and hygienic	GaAs is considered cancerogenic substance
Impact of nanoindustry	Information is not available
Rules of handling	It is necessary to be accompanied
Reclamation	"Hazardous wastes"
Standardizing and legislative	Information is not available
Usage scope	power converters, nitrides
Manufacturer	-
Nanoparticles content	10–100 pores per mkm ²
Chemical composition	Ga:As=1:3
Average dimensions	40 - 200 nm
Existence of cancerogenic substances	gallium is toxic metal
Information about impurities	S, concentration of $2,3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$
Solubility	Solvents are solutions of acids
Methods of research	Scanning electronic microscopy

Fig. 9 – Control card of quality and ecological safety of porous gallium arsenide

REFERENCES

1. Khrypunov G. Increasing the efficiency of film solar cells based on cadmium telluride / G. Khrypunov, S. Vambol, N. Deyneko, Y. Suchikova // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – № 6/5 (84) – P. 12–18.
2. Suchikova Y. Provision of environmental safety through the use of porous semiconductors for solar energy sector / Y. Suchikova // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – № 6/5 (84) – P. 26–33.
3. Bremus-Koebberlinga E. A. Nano structures via laser interference patterning for guided cell growth of neuronal cells / E. A. Bremus-Koebberlinga, S. Beckemper, A. Gillner // Journal of laser applications. – 2012. – Vol. 24, №. 4. – P. 042013-1– 042013-6.
4. Beckemper S. Generation of periodic micro- and nanostructures by parameter-controlled three-beam laser interference technique / S. Beckemper, J. Huang, A. Gillner, K. Wang, // J. Laser Micro/Nanoeng. – 2011. – № 6 (1). – P. 49–53.

5. Sengul H. Toward sustainable nanoproducts: An overview of nanomanufacturing methods / H. Sengul, T. L. Theis, S. Ghosh // J. Ind. Ecol. – 2008. – № 12. – P. 329–359.
6. Meyer D.E. An examination of existing data for the industrial manufacture and use of nanocomponents and their role in the life cycle impact of nanoproducts / D. Meyer, M. Curran, M. Gonzalez // Environ. Sci. Technol. – 2009. – № 43. – P. 1256–1263.
7. Dhingra R. Sustainable Nanotechnology: Through Green Methods and Life-Cycle Thinking / R. Dhingra, S. Naidu, G. Upreti, R. Sawhney // Sustainability. – 2010. – V.2. –P. 3323–3338.
8. Theis T. L. A life cycle framework for the investigation of environmentally benign nanoparticles and products / T. L. Theis, B.R. Bakshi, D. Durham, V. M. Fthenakis, T.G. Gutowski, J. A. Isaacs, T. Seager, M. R. Wiesner // Phys. Status Solidi RRL. – 2011. – P. 1–6.
9. Seager T. P. Coupling Multicriteria Decision Analysis and Life Cycle Assessment for Nanomaterials / T. P. Seager, I. Linkov // Journal of Industrial Ecology. – 2008. – V. 12, № 3. – P. 282–285.
10. U.S. National Library of Medicine – URL: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound>.
11. Liu Y. Chemical passivation processes for biofunctionalization schemes on semiconductor surfaces / Y. Liu, J. Chen, A.V. Teplyakov // Langmuir. – 2012. – № 6/28(44). – P.15521-8.
12. Bessolov V. N. Chalcogenide passivation of III–V semiconductor surfaces / V. N. Bessolov, M. V. Lebedev // Semiconductors. – 1998. – № 32. – P. 1141.
13. Vambol S. Analysis of the ways to provide ecological safety for the products of nanotechnologies throughout their life cycle / S. Vambol, V. Vambol, Y. Suchikova, N. Deyneko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – № 1/10(85) – P. 27–36.
14. Suchikova Y. A. Synthesis of indium nitride epitaxial layers on a substrate of porous indium phosphide / Y. A. Suchikova // Journal of Nano- and Electronic Physics. – 2015. – Vol. 7, Is.3. – P. 03017-1 – 03017-3.
15. Sato T. Electrochemical formation of N-type GaN and N-type InP porous structures for chemical sensor applications / T. Sato, X. Zhang, K. Ito, S. Matsumoto, Y. Kumazaki // Browse Conferences SENSORS, 2016 IEEE (30 Oct.-3 Nov. 2016).
16. Suchikova Y. A. Usage of porous indium phosphide as substrate for indium nitride films / Y. A. Suchikova, V. V. Kidalov, A. A. Konovalenko, G. A. Sukach // ECS Transactions. – 33(38) – 2011. – P. 73–77.
17. Singh P. Degradation Physics of High Power LEDs in Outdoor Environment and the Role of Phosphor in the degradation process / P. Singh, C.M. Tan // Scientific Reports. – 2016. – №6. – P. 24052.
18. Tan C. M. Time Evolution Degradation Physics in High Power White LEDs Under High Temperature-Humidity Conditions / C. M. Tan, P. Singh // IEEE Transactions on Device and Materials Reliability. – 2014. – № 14. – P. 742–750.
19. Amoabediny G. H. Guidelines for safe handling, use and disposal of nanoparticles / G. H. Amoabediny, A. Naderi, J. Malakootikhah, M. K. Koohi, S. A. Mortazavi, M Naderi, H. Rashedi // J. Phys.: Conf. – 2009. – № 170. – P. 012037.
20. Rajendran V. Development of Nanomaterials from Natural Resources for Various Industrial Applications / V. Rajendran // Advanced Materials Research. – 2009. – Vol. 67. – P. 71–76.

The article received by the editorial board 06.03.2017

І. Т. Богданов, В. В. Вамболь, Я. О. Сичікова

ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ НАНОМАТЕРІАЛІВ ШЛЯХОМ ПРОВЕДЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕКСПЕРТИЗИ

У статті представлено рекомендації щодо проведення екологічної експертизи нанопродуктів. Розроблено схему життєвого циклу поруватого арсеніду галію. Удосконалено методику формування поруватих шарів арсеніду галію. Проведено експертизу рог-GaAs і структури на його основі – нітриду індію. Встановлено, що поруватий арсенід галію може бути небезпечним для здоров'я. Поруватий арсенід галію формується методом електрохімічного травлення у розчинах кислот. Такі методи синтезу наноструктур становлять екологічну загрозу для навколишнього середовища. Розуміння цих загроз дозволить оптимізувати процеси формування та експлуатації наноматеріалів для забезпечення екологічної безпеки.

Ключові слова: екологічна безпека, наноматеріали, поруватий арсенід галію, життєвий цикл.

И. Т. Богданов, В. В. Вамболь, Я. А. Сычикова

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НАНОМАТЕРИАЛОВ ПУТЕМ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ

В статье представлены рекомендации по проведению экологической экспертизы нанопродуктов. Разработана схема жизненного цикла пористого арсенида галлия. Усовершенствована методика формирования пористых слоев арсенида галлия. Проведена экспертиза рог-GaAs и структуры на его основе - нитрида индия. Установлено, что пористый арсенид галлия может быть опасным для здоровья. Пористый арсенид галлия формируется методом электрохимического травления в растворах кислот. Такие методы синтеза наноструктур составляют экологическую угрозу для окружающей среды. Понимание этих угроз позволит оптимизировать процессы формирования и эксплуатации наноматериалов для обеспечения экологической безопасности.

Ключевые слова: экологическая безопасность, наноматериалы, пористый арсенид галлия, жизненный цикл.

УДК 631.459

Т. Г. Лях, д. с.-х. н.

Е. С. Кухарук, д. с.-х. н.

Институт почвоведения, агрохимии и охраны почв «Николае Димо»
ул. Яловенская, 100, г. Кишинев, Молдова, 2070

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА РАЗВИТИЕ ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПОЧВАХ МОЛДАВИИ

Приведены результаты исследований природных и антропогенных условий, определяющих опасность проявления и развития деградации почв. Эрозия почв является главным фактором деградации земель в Молдове. Пораженность сельскохозяйственной территории Молдовы эрозией увеличилась с 28 % в 1965 г. до 40 % в 2015 г. Средний ежегодный прирост эродированных земель за 50 лет составляет 5,7 тыс.га. Наличие больших площадей слабосмытых почв (505 тыс. га) указывает на большую потенциальную возможность дальнейшего усиления процесса эрозии на землях сельскохозяйственного назначения. Ежегодно с 1 га смытых почв теряется в среднем 30 т плодородной почвы или 26 млн. тонн со всей эродированной площади. Охрана земель от эрозии является одним из главных условий для улучшения экономической и экологической ситуации, которая осуществляется на основе научных исследований в мониторинговых полигонах и принципов излагаемых в различных государственных программах.

Ключевые слова: природные условия, антропогенные факторы, эрозия почв, экологический лимит территории.

Постановка проблемы. Почвы являются основным природным ресурсом Молдовы, на использовании которого базируется 75 % национальной экономики. Для решения проблем, связанных с потерей сельскохозяйственных земель, интенсивной деградацией почв и ухудшением экологической ситуации в Молдове были начаты работы по мониторингу качества состояния земельных ресурсов. Для этого были созданы мониторинговые полигоны на типичных пахотных и залежных почвах, для сравнения степени деградации пахотных почв под влиянием антропогенных факторов [1].

Информация о проявлении природных и антропогенных факторов, интенсивности и характере эрозионных процессов была получена путем основания в различных районах страны полигонов для проведения мониторинговых исследований эрозии почв. Природные и антропогенные условия определяют интенсивность процессов почвообразования и, одновременно, степень развития процессов деградации почвенного покрова, а также возникновение различных экологически опасных ситуаций [2]. Экологически опасная ситуация – это ситуация, характеризующаяся наличием негативного изменения состояния окружающей среды под влиянием антропогенных и природных воздействий, сопровождаемых социальными и экономическими потерями [3].

Анализ последних исследований и публикаций. В последние десятилетия высокоплодородные почвы Молдовы подвергаются всё большей деградации в результате антропогенной деятельности. Эрозия почв представляет собой одну из главных угроз сельскохозяйственному производству и наносит огромный урон окружающей среде. В Молдове эрозионные процессы носят зональный характер, поэтому данные процессы изучаются на мониторинговых участках, в

рамках научно-исследовательских проектов. Борьба с эрозией почв может быть успешной только в результате осуществления органической связи противоэрозионных мероприятий с региональными системами сельского хозяйства.

Постановка задачи и ее решение. Целью данной работы являются анализ и обобщение материалов по изучению природных и антропогенных факторов, влияющих на развитие процессов деградации земель, в том числе эрозии на мониторинговых полигонах. На основе изучения факторов деградации разрабатываются зональные системы противоэрозионных мероприятий, направленных на защиту почв от деградации и повышение плодородия смытых почв.

Геологическое строение. В истории геологического развития территории Молдовы выделяются два крупных периода, соответствующих геосинклинальному и платформенному этапам эволюции. Платформенный режим привел к излиянию диабазов, образованию многочисленных геологических разломов и четырех платформенных впадин. В неогене, в связи с эволюцией Карпатской геосинклинали и Причерноморской впадины, пригибание охватило практически всю территорию и она оказалась под морем. Это привело к накоплению огромной толщи морских неогеновых отложений, которые в настоящее время местами выходят на дневную поверхность или перекрыты четвертичными отложениями. Третичные отложения представлены сарматскими засоленными глинами с линзами супесей и песков [1].

Почвообразующие породы. Четвертичные отложения развиты повсеместно и представлены лессовидными суглинками, древними и современными аллювиальными отложениями различного гранулометрического состава – от глин до супесей. Как следствие, почвообразующим материалом почв Молдовы являются поверхностные отложения, преимущественно четвертичные,

частично – неогеновые отложения. Почвообразующие породы и геологическое строение способствуют проявлению следующих процессов деградации почвенного покрова:

– глинистый гранулометрический состав почв – возникновению стагникового процесса переувлажнения, образованию мочаров на склонах, проявлению процессов слитизации, формированию слитых почв, развитию линейной эрозии;

– глинистый гранулометрический состав подстилающих пород – скоплению почвенно-грунтовых вод, образованию зеркал скольжения и проявлению оползневых процессов, возникновению мочаров и формированию избыточно-увлажненных почв на склонах;

– засоленность почвообразующих пород – образованию солонцов на склонах, повышению минерализации грунтовых вод, засолению и осолонцеванию почв долин;

– средний и легкий гранулометрический состав почв и почвообразующих пород – развитию поверхностной водной и ветровой эрозии, аридизации почв и опустыниванию земель [4].

Современный рельеф. Молдова является результатом взаимодействия тектонических движений земной коры и процессов денудации в континентальных условиях, продолжающихся с конца неогенового периода. Средняя высота

поверхности Молдовы – 147 м, максимальная отметка над уровнем моря – 429 м. Высота территории падает с северо-запада на юго-восток, и на фоне этого общего падения высоты наблюдается закономерное сочетание невысоких равнин и приподнятых глубокорасчлененных возвышенностей, занимающих преимущественно центральную часть Молдовы (Кодры).

Показателями рельефа, обуславливающими интенсивность проявления эрозии почв, являются: общая расчлененность территории, глубина местных базисов эрозии, средние уклоны, длина, крутизна, форма, экспозиция склонов.

По своему сочетанию эти параметры складываются в сложную систему, что невозможно дать рельефу единую интегральную характеристику. Необходим дифференцированный подход к каждому водосбору и склону, зная их морфометрические характеристики [5].

Средние количественные параметры склонов по почвенно-климатическим зонам приведены в табл. 1.

Для всей территории Республики Молдова степень проявления эрозии почв в зависимости от ряда морфометрических параметров рельефа представлена шкалой, которой можно пользоваться в практических целях (табл. 2).

Табл. 1 – Количественные параметры склонов по почвенно-климатическим зонам

Показатели	Зоны			
	Северная	Центральная	Южная	Всего по Молдове
Длина склонов, м				
средняя	800	1080	835	850
максимальная	1440	1760	1330	1440
Экспозиция склонов, %				
северная	24	20	16	21
восточная	25	25	31	26
южная	27	29	23	26
западная	24	26	30	27
Форма продольного профиля, %				
прямая	40	23	18	33
вогнутая	20	49	26	28
выпуклая	40	28	56	39
Глубина местных базисов эрозии, м				
средняя	100	130	90	95
максимальная	200	328	160	328

Табл. 2 – Оценочная шкала морфометрических показателей рельефа по степени проявления эрозии почв

Степень проявления эрозии	Гидро-графическая сеть, км/км ²	Глубина местных базисов эрозии, м	Средняя длина склонов, м	Доля (%) площади с уклоном	
				более 2°	более 6°
Незначительная	0,3	менее 50	<300	20	5
Слабая	0,3–0,5	50–70	300–500	20–40	5–10
Средняя	0,5–0,6	70–100	500–700	40–50	10–20
Сильная	0,6–0,7	100–150	700–1000	50–70	20–25
Очень сильная	Более 0,7	более 150	более 1000	более 70	более 25

Для Молдовы, согласно экспериментальным данным, количество смываемой почвы увеличивается пропорционально длине склона в степени от 0,5 до 2, в среднем 1,6. Увеличение длины склона на 100 м

приводит к увеличению смыва почвы в 1,5 раза, а при удвоении длины склона с 200 до 400 м смыв возрастает в 4 раза. Удвоение крутизны склона увеличивает смыв почвы в 2,3 раза. Рост крутизны

склона на 1° (начиная с уклона крутизной в 2°) увеличивает смыв на посевах кукурузы в среднем на 6,6 тонны, подсолнечника – на 5,7 тонны, зяби и полупаре – на 4 тонны, озимой пшеницы – на 3,1 тонны [5].

Уклоны от 0 до 2° считаются плакорными (ровными), на них эрозия не проявляется (до 1°) или проявляется в слабой степени (1–2°) и может быть погашена относительно простыми защитными приемами. Уклоны 2–6° уже опасны, здесь образуются не только слабосмытые, но среднесмытые и даже сильносмытые почвы. Земли с уклоном 6–10° представляют собой зону повышенного риска и требуют уже применения большого комплекса защитных мер. Участки с крутизной более 10° должны быть выведены из сферы активного растениеводческого использования и отведены под лесонасаждения или “на отдых” под строго регулируемые пастбища [6].

Большое влияние на интенсивность эрозионных процессов оказывает и экспозиция склонов. Солнечные склоны значительно больше подвержены эрозии, чем теневые.

В связи с общим уклоном территории Молдовы с северо-запада на юг и юго-восток, северных склонов (21 %) меньше всего, восточных, южных и западных – практически одинаковое количество (26–27 %). По зонам различия более существенные. Обращает на себя внимание преобладание в Центральной части Молдовы склонов южной экспозиции – 29% [7].

Форма склонов имеет существенное значение для проявления эрозии и подбора приемов борьбы с ней. Наименее опасными в эрозионном отношении являются склоны прямые, которых много в Северной зоне (40 %) и более чем вдвое меньше в Южной (18 %), близка к этому и Центральная зона (23 %). Поэтому условия минимизации эрозии в этих двух зонах особенно сложны. С другой стороны, большое число вогнутых склонов в Центральной зоне (49 %) может способствовать уменьшению жидкого сока и задержанию части продуктов твердого смыва в пределах склона [8].

Местные базисы эрозии, как средние, так и максимальные, имеют особенно большие значения в Центральной зоне (130–328 м), что еще раз подчеркивает эрозионную опасность в ее пределах. В Северной и Южной зонах Молдовы эти величины заметно ниже, но все же значительны и тоже должны учитываться при противоэрозионной защите почв (табл. 1).

Следует отметить, что рельеф оказывает основное влияние на формы и интенсивность проявления эрозионных и оползневых процессов – главных факторов деградации земель Молдовы.

Климатические условия. В зависимости от широтного положения, абсолютной высоты местности и особенностей орографии, на территории Молдовы выделены три климатические зоны, которые одновременно, в определенном смысле, являются и агропедоклиматическими: Северная, Центральная и

Южная. Зоны, в свою очередь, в зависимости от местных особенностей климата, связанных с абсолютной высотой и рельефом, делятся на климатические подзоны. Северная зона характеризуется умеренно теплым полувлажным климатом, Центральная – теплым полувлажным, Южная – жарким засушливым климатом [1].

Для оценки опасности развития эрозии почв важны данные по характеру выпадения атмосферных осадков. Летом выпадают обильные продолжительные дожди малой интенсивности, хорошо увлажняющие почву и не вызывающие заметной эрозии, однако преобладают ливневые дожди сильной интенсивности. Они обычно сопровождаются грозами, 1–2 дня – градом. Ливни обуславливают значительный бесполезный сток воды со склонов, вызывая смыв и размыв почвы. Капли ливневого дождя, крупные и падающие с большой скоростью, своей динамической нагрузкой дробят структурные агрегаты почвы, ослабляя ее сопротивляемость эрозии [4, 8].

Молдова, наравне с Карпатами, районами европейского Средиземноморья и Балкан, относится к областям особо обильных ливневых осадков, когда в течение 24 часов выпадает 100 мм дождя и более. Они особенно опасны в эрозионном отношении и для ослабления их действия должен строго соблюдаться весь комплекс почвоохранительных приемов, а в рискованных местах (например, на коротких притоках Прута) следует возводить капитальные гидротехнические сооружения [2].

Расчлененный рельеф и ливневый характер выпадения осадков вызывают интенсивное проявление эрозии почв, и борьба с деградацией земель возможна только в условиях противоэрозионной организации территории и соблюдения необходимого комплекса агротехнических, гидротехнических и фитомелиоративных противоэрозионных мероприятий [1, 5].

Почвенные условия. Многообразие природных условий привело к формированию на территории Молдовы сложного и комплексного почвенного покрова. Изменение климатических условий и растительности с севера на юг привело к формированию горизонтальной зональности почвенного покрова, которая сильно осложнена особенностями геоморфологического строения конкретных территорий.

Особенностью почвенного покрова земельного фонда с/х назначения Молдовы является преобладание в его структуре черноземов (78,4 %), которые вместе с лугово-черноземными почвами (3,6 %) занимают до 82 % от общей площади. Вторыми зональными почвами по площади распространения являются серые лесные (6,5 %).

Отрицательные формы рельефа (поймы больших и малых рек, долины балок) заняты гидроморфными почвами (8,7 %) – луговыми, лугово-болотными, болотными внепойменными (2,5 %); аллювиальными луговыми, лугово-болотными и болотными (6,2 %); солонцами и солончаками. Сложность структуры почвенного покрова, многообразие деструктивных воздействий природных факторов,

хозяйственная деятельность обуславливают широкое развитие процессов деградации и разрушения земель с/х назначения [6, 7].

Растительный покров уменьшает проявление эрозии или полностью ее предупреждает за счет своей надземной и корневой массы. Растительность не только уменьшает сток осадков и смыв почвы, но и кольматирует твердый сток, смытый с выше расположенных отрезков склонов.

Посевы многолетних и однолетних трав на склонах являются эффективным мероприятием по защите почв от эрозии и при осуществлении других защитных мер сокращают размеры смыва до допустимой нормы – 5 т/га, создают густой

надземный покров и разветвленную корневую систему. Корневая масса люцерны и эспарцета в трехлетнем возрасте в слое 0–40 см достигает 9–10 т/га. При этом в верхнем – 10 см слое почвы сосредоточено примерно 40–50% корневой массы. Почвозащитная роль многолетних трав во многом определяется полнотой проективного покрытия и общей надземной массы. При выпадении интенсивных ливней на посевах трав наблюдается небольшой сток осадков при очень низкой мутности потока [4]. Величина смыва почв в период вегетации с/х культур изменяется в зависимости от вида, густоты и фаз их развития (табл. 3).

Табл. 3 – Смыв почвы в период вегетации растений, т/га (осадки – 60 мм, интенсивность 0,2 мм/мин)

Культура	май	июнь	июль	август	Всего
Горох	6,4	2,8	5,4	0	14,6
Пшеница	2,1	0,3	4,1	0	6,5
Подсолнечник	24,7	4,2	7,0	9,4	45,3
Кукуруза	20,8	13,9	13,7	12,3	60,7
Всего	54,0	21,2	30,2	21,7	127,1

Динамика смыва почв под культурами сплошного сева почти одинаковая: наибольший смыв - в мае. В июне наблюдается значительный спад - смыв в 2-13 раз меньше первоначальных величин, а в июле снова возрастает, но не так резко. Величина смыва почв под пропашными в 3-4 раза больше, чем под культурами сплошного сева. Особое внимание защите почв от эрозии под озимыми культурами должно быть уделено осенью, сразу после посева до всходов и рано весной, до начала возобновления вегетации. Под яровыми зернобобовыми культурами меры защиты от эрозии следует осуществлять сразу после посева, а под пропашными - с мая по июль. При увеличении насыщенности севооборотов пропашными культурами резко снижается покрытие поверхности и защищенность почв. Если в севообороте пропашные культуры увеличиваются с 20 до 60 %, защищенность почв от эрозии снижается на 12–15 % и потребность в применении противоэрозионных мероприятий возрастает 23–25 % [5, 7]. Поэтому в условиях склонового земледелия следует применить особые - почвозащитные севообороты в составе которых преобладали бы культуры сплошного сева и многолетние травы.

Хозяйственная деятельность. В настоящее время активное развитие эрозии в Молдове связано с большой антропогенной нагрузкой на склоновые земли. Основными антропогенными факторами развития деградации почвенного покрова являются предельная распаханность территории, рубка

лесополос, обработка почв вдоль склонов, неправильное размещение дорожной сети, недостаточная защищенность почв растительным покровом, чрезмерная доля пропашных культур в полевых севооборотах, влияние агротехники на уплотнение почвы, несоблюдение противо-эрозионной мероприятий. Ведение земледелия без учета особенностей почв, рельефа приводит к постоянному снижению плодородия почв и их деградации.

Приватизация земель привела к усилению процессов деградации почв. Чрезмерное раздробление производственных участков, размещение их вдоль склонов, хозяйствование в условиях экономического кризиса не позволяет новым собственникам осуществлять элементарные мероприятия по охране, мелиорации и рациональному использованию земель [6].

Эрозия почв является главным фактором деградации сельскохозяйственных земель Молдовы. Динамика площадей эродированных почв на обследованных землях с/х назначения Молдовы, приведена в табл. 4. Пораженность с/х территории Молдовы эрозией, судя по данным табл. 4, увеличилась с 28 % в 1965 г. до 40 % в 2015 г. Средний прирост площади эродированных земель за 50 лет составляет 5,7 тыс.га ежегодно. Наличие больших площадей слабосмытых почв (505 тыс. га) указывает на большую потенциальную возможность дальнейшего усиления процесса эрозии на землях с/х назначения Молдовы.

Табл. 4 – Динамика площадей эродированных почв на землях сельскохозяйственного назначения Молдовы

Степень смытости почв*	1965		1975		1995		2015	
	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%
Несмытые	1517,4	71,9	1457,2	69,0	1287,5	61,0	1461,1	60,1
Слабосмытые	302,4	14,3	341,9	16,2	485,3	23,0	504,8	22,9
Среднесмытые	195,6	9,3	213,0	10,1	244,6	11,6	259,3	11,8
Сильносмытые	96,2	4,5	99,5	4,7	94,2	4,4	114,2	5,2
Всего смытых почв	594,2	28,1	654,4	31,0	824,1	39,0	878,3	39,9

*Источник: Земельный кадастр Республики Молдова на 1.01.1965, 1975, 1995, 2015 гг.

Основные принципы борьбы с деградацией земель. Устойчивое социально-экономическое развитие Молдовы возможно только при поддержании на длительное время качественного состояния и производительной способности почв, используемых в сельском хозяйстве, путем предупреждения и борьбы с процессами их деградации [8].

Первый принцип стратегии борьбы с деградацией земельных ресурсов состоит в установлении проблем, причин и осуществлении в определенной последовательности необходимых действий на основании данных кадастра и мониторинга качественного состояния почвенного покрова. Государство должно предоставить в распоряжение землевладельцев и землепользователей объективные данные о качестве почвенного покрова приватизированных участков.

Эта информация необходима для разработки плана мероприятий и проектов по охране, мелиорации и рациональному использованию почв; калькуляции размера земельного налога, осуществления операции по юридической циркуляции земель. Реализация этого принципа возможна путем совершенствования национальной системы почвенных и агрохимических исследований и их циклического проведения на всей площади сельскохозяйственных земель.

Второй принцип стратегии состоит в использовании земель в соответствии с понятием «экологический лимит территории», характеризующий возможность возобновления природных ресурсов. Этот принцип реализуется через нормы и стандарты, утвержденные законом. Обязательным условием является возмещение экономическими агентами ущерба, причиненного в результате деградации почв и других природных ресурсов, и восстановление их качества.

Стандарты и нормы «экологического лимита» устанавливают критерии благоустройства территории, учитывающие необходимость поддержания экологического равновесия, охрану, мелиорацию и рациональное использование почв для обеспечения сельскохозяйственной и лесной деятельности, гарантируя им социально-экономическую стабильность и жизнеспособность на длительное время.

Третьим основным принципом стратегии борьбы с деградацией почв и повышения их плодородия является внедрение на всей территории Молдовы системы устойчивого земледелия для сохранения природных ресурсов и, в первую очередь, плодородия почв, приспособления системы «растение – животное» к окружающей среде, и поддержания продуктивности почв на высоком уровне в течение длительного времени.

Задачи, которые необходимо решать для реализации перечисленных принципов, следующие:

- разработка и утверждение стандартов и экологических норм по рациональной с/х эксплуатации земель в пределах природных ландшафтов;

- структуризация и реконструкция ландшафтов таким образом, чтобы стимулировать природные процессы, способствующие восстановлению плодородия почв, поддержанию биологического

разнообразия, самоочищению и предупреждению загрязнения земель;

- стимулирование исследований в рамках показательных проектов для создания моделей высокоэффективных сельскохозяйственных ферм, в которых бы поддерживалось природное равновесие, соблюдались бы оптимальные нагрузки на почвы с учетом особенностей каждой агропедоклиматической зоны и системы ландшафта, чтобы не допустить развития процессов деградации;

- использование традиционного опыта в гармонии с современными технологиями рационального использования почв;

- создание на государственном и местном уровнях единой иерархической системы управления, контроля, охраны земельного фонда и регламентации земельных отношений;

- введение финансовой, бюджетной и законодательной системы, благоприятной как для социально – экономического благосостояния населения, так и для охраны окружающей среды и природных (почвенных) ресурсов;

- государственное регулирование деятельности экономических агентов через законы, стандарты и единые нормы по охране окружающей среды и почвенного покрова;

- изменение политики рынка и цен, которая обеспечивала бы средства для охраны почвенного покрова;

- практическая реализация совокупности юридических, политических и экономических механизмов по регулированию и стимулированию на государственном и местном уровнях проведения мероприятий по охране, мелиорации и рациональному использованию почв, в первую очередь, налоговых и экономических (снижение или отмена земельного налога, предоставление выгодных кредитов);

- установление, внедрение и слежение за мерами по предупреждению и борьбе с различными формами деградации почв, с предусмотрением технологической и финансовой ответственности;

- создание инфраструктуры для материально-технического обеспечения работ по мелиорации деградированных земель;

- создание необходимой инфраструктуры для обучения, воспитания и пропаганды, которая способствовала бы освоению местным населением необходимых навыков для предотвращения и борьбы с деградацией, охраны и рационального использования почв.

Осуществление мероприятий по предупреждению и борьбе с деградацией почв возможно только при участии государства и всего населения в их реализации. Они требуют большие инвестиции со стороны государства, экономических агентов и организаций, занимающихся проблемами охраны природных ресурсов и устойчивого развития. Эти мероприятия должны быть реализованы в рамках действий по организации и благоустройству территорий на уровне хозяйств, коммун, республики. Для их выполнения необходимо проведение соответствующих мониторинговых исследований и составление проектов.

Выводы. Для комплексной системы мониторинга эрозионных процессов и борьбы с эрозией почв необходимы гидрологические и эрозионные исследования почв на склоновых землях. Гидрологические исследования дают более точное представление о размерах противоэрозионных работ и максимальных объемов твердых и жидких стоков. Эрозионные исследования почв проводятся в рамках почвенного картографирования, результаты которой

составляют основу для организации противоэрозионных мероприятий территорий и оценки техногенно - экологической безопасности Молдовы и ее аграрных экосистем.

Данная работа выполнена в рамках проекта: UNDP «Evaluation of eroded soil's improvement in the wetland area of the Nistru river for organic farming and poverty reduction», nr. 00094646, 09.2016-02.2017.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Monitoringu calității solurilor Republicii Moldova: culegere de art. / Coord. V. Cerbari. – Ch. : Pontos, 2010. – P. 58–87.
2. Программа освоения деградированных земель и повышения плодородия почв. Часть I. Мелиорация деградированных земель: программа. Отв. ред. С.В. Андриеш. – Ch. : Pontos, 2005. – С.7–29.
3. Бринчук, М. М. Экологическое право: учеб. 2-е изд. / М. М. Бринчук. – М. : Юрист, 2003. – 556 с.
4. Крупеников, И. А., Константинов, И. С. Факторы, вызывающие водную эрозию почв : пособие / Эрозия почв. Сущность процесса, последствия, минимализация и стабилизация. – Ch. : Pontos, 2001. – С. 25–45.
5. Eroziunea solului și metode de combatere: îndrumar / I. Constantinov, I. Krupenikov, L. Voaghe, G. Dobrovolschi. –Ch. : Tipografia Centrală, 2003. P. 34–57 (rom).
6. Лях Т. Г. Освоение деградированных земель и повышение плодородия почв - основа устойчивого развития сельского хозяйства Молдовы: Сб. статей Междун. конф. Управление бассейном трансграничной реки Днестр в рамках бассейнового Договора. Кишинев, 20-21 сентября 2013 / Eco-Tiras. – Ch. : Elan Poligraf, 2013. – P. 223–227.
7. Măsurii și tehnologii de combatere a eroziunii solului: recomandări / V. Cerbari, S. Andrieș, V. Filipciuc, et al. – Ch. : Pontos, 2012. – P. 7–10.
8. Программа освоения деградированных земель и повышения плодородия почв. Часть II. Повышения плодородия почв : программа. Отв. ред. С.В. Андриеш. – Ch. : Pontos, 2005. – С.7–30.

Статья поступила в редакцию 13.03.2017

Т. Г. Лях, К. С. Кухарук

ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА РОЗВИТОК ЕРОЗІЙНИХ ПРОЦЕСІВУ ГРУНТІ МОЛДОВИ

Наведено результати досліджень природних і антропогенних умов, що визначають небезпеку прояву і розвитку деградації ґрунтів. Ерозія ґрунтів є головним чинником деградації земель в Молдові. Ураженість сільськогосподарської території Молдови ерозією збільшилася з 28% в 1965 р до 40% в 2015 р Середній щорічний приріст еродованих земель за 50 років становить 5,7 тис. га. Наявність великих площ слабкоеродованих ґрунтів (505 тис. га) вказує на велику потенційну можливість подальшого посилення процесу ерозії на землях сільськогосподарського призначення. Щорічно з 1 га змитих ґрунтів втрачається в середньому 30 т родючого ґрунту або 26 млн. Тонн з усією еродованих площі. Охорона земель від ерозії є одним з головних умов для поліпшення економічної і екологічної ситуації, яка здійснюється на основі наукових досліджень в моніторингових полігонах і принципів, що викладаються в різних державних програмах.

Ключові слова: природні умови, антропогенні фактори, ерозія ґрунтів, екологічний ліміт території.

T. Leah, E. Kuharuk

INVESTIGATION OF FACTORS AFFECTING THE DEVELOPMENT OF EROSION PROCESSES IN THE SOILS OF MOLDOVA

The results of study of natural and anthropogenic conditions that determine the manifestation risk and soil degradation development are presented. Soil erosion is a major factor of agricultural land degradation in Moldova. The erosion affection of agricultural territory of Moldova increased from 28% in 1965 to 40% in 2015. The average annual increase of the eroded land area is 5.7 thousand hectares for 50 years period. The presence of large areas of weakly eroded soils (505 thousand ha) indicates the great potential to further strengthen of erosion process on the land with agricultural destination. Annually, from 1 ha of eroded soils lost an average of 30 tons of fertile soil or 26 million tons from all over eroded area. Land protection from erosion is one of the main conditions for improving the economic and environmental situation which is based on scientific monitoring principles argument in national programs.

Keywords: natural conditions, anthropogenic factors, soil erosion, environmental limit of the territory.

УДК 504.05

О. М. Соболев, д. т. н., с. н. с., нач. каф.

А. В. Максимов, викладач

Національний університет цивільного захисту України

вул. Чернишевська, 94, м. Харків, Україна, 61023

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ КІЛЬКОСТІ ТА МІСЦЬ РОЗТАШУВАННЯ ТЕПЛОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ НА ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДАХ

У роботі сформульовано постановку задачі визначення оптимальної кількості та місць розташування теплоелектростанцій на твердих побутових відходах. Обґрунтовано доцільність використання зазначених теплоелектростанцій, розглянуто основні фактори, що впливають на електричну потужність ТЕС на відходах, а також на кількість вказаних ТЕС у відповідному регіоні. Визначено основні вимоги до місць розташування теплоелектростанцій з урахуванням розмірів санітарно-захисної зони. Здійснено декомпозицію задачі визначення оптимальної кількості та місць розташування ТЕС на відходах на дві складові. Розглянуто підхід до подання вихідної інформації про ТЕС на відходах та про області допустимих розміщень вказаних об'єктів. Визначено напрями подальших наукових досліджень.

Ключові слова: теплоелектростанція, тверді побутові відходи, постановка задачі, оптимальний, область допустимих розміщень.

Постановка проблеми. Проблема поводження з твердими побутовими відходами (ТПВ) в Україні відноситься до найгостріших проблем, які, на жаль, практично не вирішуються. За даними Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України в нашій країні за 2015 рік утворилось близько 48 млн м³ побутових відходів, або близько 10 млн. тонн, які захоронюються на 6 тис. сміттєзвалищ і полігонів загальною площею понад 9 тис. га [1]. Обсяги їх переробки, компостування та спалювання не перевищують 8 %. Таким чином, більше 90 % ТПВ щорічно захоронюються на полігонах, велика частина з яких перевантажена та експлуатується з порушеннями базових екологічних та проектних норм [2].

Розвиток сфери поводження із ТПВ у найбільш розвинених країнах Європи дозволяє переробляти, компостувати та спалювати до 95 % утворених відходів. Лідерами за обсягами корисного використання ТПВ є Бельгія, Данія, Нідерланди, Німеччина, Швеція та Швейцарія. Питома вага побутових відходів, що захоронюються, у цих країнах не перевищує 5 % від їх загального обсягу. При цьому показники переробки та компостування перевищують 50 %, а питома вага спалення ТПВ з метою рекуперації енергії, в усіх перелічених країнах, крім Німеччини, складає 99–100 % [2].

Таким чином, одним із перспективних напрямів для України стосовно вирішення проблеми поводження із ТПВ є використання теплоелектростанцій (ТЕС) на відходах, що сприятиме також підвищенню рівня енергонезалежності нашої держави.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботі [3] наведено принципові рішення для ТЕС на ТПВ, а також принципи використання плазматронів у сучасних технологіях енергетичної утилізації ТПВ.

Слід відзначити, що ТЕС на відходах функціонують у різних країнах світу. Наприклад, в [4] зазначено про будівництво у м. Краків

найбільшої у Польщі ТЕС на відходах. ТЕС має встановлену електричну потужність 11 МВт та 35 МВт теплової потужності. Протягом року в котлах теплоелектростанції будуть спалювати 220 тон побутових відходів, при цьому попіл від спалювання відходів буде використано при будівництві доріг. Очікується, що завдяки новій ТЕС обсяг ТПВ на полігонах біля Кракова буде скорочено на 90%. Також як приклад можна навести успіхи у даному напрямі Швеції [5].

Разом з тим, навколо таких об'єктів як теплоелектростанція створюються санітарно-захисні зони, клас яких і розміри визначаються відповідно до [6]. Але до сьогодні питання оптимізації кількості та місць розташування ТЕС на твердих побутових відходах для забезпечення життєдіяльності у населених пунктах відповідного регіону не досліджувались.

Постановка завдання та його вирішення. У нашій роботі на підставі аналізу принципових рішень для ТЕС на ТПВ, а також на підставі вимог до розміщення теплоелектростанцій необхідно здійснити постановку задачі визначення оптимальної кількості та місць розташування теплоелектростанцій на твердих побутових відходах для забезпечення життєдіяльності у населених пунктах відповідного регіону.

Світовий досвід показує, що у великих містах найбільш доступним і економічно доцільним альтернативним джерелом отримання енергії є теплові електростанції, на яких спалюють тверді побутові відходи. В результаті утилізації відходів тільки в Європі вже зараз щорічно відпускається в міську мережу понад 28 млрд. кВт-год електроенергії і приблизно 70 млрд. кВт-год теплової енергії. У США загальна встановлена електрична потужність ТЕС на ТПВ становить 2700 МВт [3]. Слід зазначити, що, крім енергозабезпечення, шляхом термічної переробки відходів вирішується важлива соціальна проблема – очищення великих міст від ТПВ, а також здійснюється запобігання викидам парникових газів.

Слід зазначити, що енергію, яка виділяється у процесі термічної переробки ТПВ, на всіх сучасних підприємствах обов'язково утилізують у вигляді пари для відпуску споживачеві або для подальшого вироблення електроенергії. Європейським законодавством запропоновано формулу оцінки енергоефективності (E) таких підприємств [3]

$$E = \frac{E_p - (E_f + E_o)}{0,97 \cdot (E_w + E_o)}, \quad (1)$$

де E_p – енергія, що відпускається споживачу у вигляді тепла або електроенергії, ГДж/рік. Ця величина має бути помноженою на коефіцієнт 1,1 для тепла та на 2,6 для електроенергії; E_f – теплота додаткового палива, що витрачається для виробництва енергії, ГДж/рік; E_w – енергія, що міститься у відходах, яка розраховується з урахуванням їх теплоти згоряння, ГДж/рік; E_o – енергія від зовнішнього постачальника, ГДж/рік, виключаючи E_f та E_w ; 0,97 – коефіцієнт, що враховує теплові втрати.

На сучасних з економічної та екологічної точок зору підприємствах для термічної переробки ТПВ енергетична ефективність процесу повинна становити 0,60–0,65.

Відповідно до [3] основними факторами, що впливають на електричну потужність ТЕС на твердих побутових відходах, є прогнозований обсяг відходів, що поступають на переробку, та їх властивості. Слід відзначити, що електрична потужність звичайних ТЕС залежить від потреби відповідного регіону в електроенергії.

Що стосується кількості ТПВ, яка може бути перероблена на теплоелектростанції, то вона залежить від цілої низки факторів, до яких відносяться:

- кількість населення у відповідному регіоні;
- питомий об'єм накопичення ТПВ у конкретному регіоні;
- регіональна політика поводження з твердими побутовими відходами;
- сучасні світові тенденції стосовно управління ТПВ.

Слід відзначити, що практично всі теплоелектростанції на ТПВ належать провідним енергетичним компаніям, при цьому будівництво нових ТЕС ведеться, як правило, за рахунок зазначених енергетичних компаній або зі значною долею капітальних вкладень з їх боку.

На сьогодні у Франції знаходяться в експлуатації 12 ТЕС на ТПВ, у Німеччині – 30, а в США – 45, причому на 15 підприємствах електрична потужність перевищує 60 МВт.

Вибір майданчика нової електростанції є початковим і одним з найбільш відповідальних етапів проектування, оскільки прийняте рішення у значній мірі визначає терміни і вартість

будівництва, можливість ефективної експлуатації об'єкта. Оптимальне вирішення цього завдання можливе лише в результаті ретельного аналізу питань економічного, соціального, фізико-географічного, технічного характеру, а також перспектив розвитку енергетики і пов'язаних з нею галузей. Тільки врахування всіх факторів, які прямо або побічно впливають на розміщення енергетичного об'єкта, дозволяє правильно вибрати майданчик для його будівництва.

Варіант розміщення електростанції обирається після проведених порівняльних розрахунків вартості перевезення ТПВ та передачі електроенергії в район споживання.

Майданчики для розміщення ТЕС необхідно вибирати з урахуванням таких вимог [7]:

- електростанції повинні бути максимально наближені до джерел палива і водопостачання, споживача енергії та під'їзних шляхів;
- рівень ґрунтових вод має бути нижче глибини підвалів; останні не повинні затоплюватися паводковими водами;
- не можна розташовувати станції над заляганням корисних копалин, а також на зсувних ділянках;
- ухил площадки розміщення не повинен перевищувати $-0,5^\circ - 1^\circ$;
- електростанції повинні розміщатися поблизу населеного пункту з урахуванням санітарно-захисної зони.

Виробництво електроенергії на ТЕС супроводжується виділенням великої кількості тепла, тому такі станції намагаються будувати недалеко від великих міст і промислових центрів для використання цього тепла.

Що стосується санітарно-захисної зони, то відповідно до Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів [6] теплоелектростанції відносяться до 3-го класу; при цьому радіус санітарно-захисної зони має становити 300 м. Але оскільки розглядаються теплоелектростанції на твердих побутових відходах, то пропонується віднести її до 2-го класу з радіусом санітарно-захисної зони 500 м, тобто як для сміттєспалювальних заводів.

Таким чином виникає наступна задача. Розглянемо відповідний регіон із заданою кількістю населення. Відповідно до [8] питомі показники утворення відходів складають 250–300 кг/рік на одну людину, а у великих містах – 330–380 кг/рік на одну людину. Ця статистична інформація дозволяє визначити приблизну кількість відходів, що утворюються кожного року в регіоні.

Так, наприклад, чисельність населення міста Харкова, за даними [9] на 1 грудня 2016 року, – 1439733 особи, а Харківської області (без урахування м. Харкова) – 1263734 особи. Якщо прийняти питомий показник утворення відходів для м. Харкова 330 кг/рік на одну людину, то можна зробити висновок, що протягом року на території міста утворюється більше 475 тис. тонн відходів. Для області вказаний показник (за умови значення питомого показника 250 кг/рік)

дорівнює майже 316 тис. тонн відходів. Таким чином, враховуючи [3], для переробки відходів, які утворюються на території міста Харкова та області, буде достатньо 2 ТЕС на ТПВ з електричною потужністю, відповідно, 24 та 36 МВт, або однієї ТЕС із потужністю 60 МВт (аналогічних підприємствам у США). Слід відзначити, що можна також одержати закони розподілу випадкової величини річного об'єму утворення відходів у відповідних регіонах з подальшим визначенням кількості та електричної потужності ТЕС на ТПВ.

Отже, необхідно визначити мінімальну кількість та місця розташування ТЕС на ТПВ з урахуванням таких обмежень:

- електрична потужність теплоелектростанції не має перевищувати заданої;
- мінімізація вартості перевезення ТПВ та передачі електроенергії до споживачів;
- розміщення майданчика теплоелектростанції має відповідати вищенаведеним геологічним вимогам з урахуванням розмірів санітарно-захисної зони;
- наявність залізничного та автомобільного зв'язку;
- можливість розміщення ТЕС на землях сільськогосподарського призначення (за відсутності таких земель – на сільськогосподарських угіддях низької якості);
- задача має розглядатися у межах виділених ресурсів;
- енергоефективність теплоелектростанції має бути не нижчою за задане значення.

Тоді постановку задачі визначення оптимальної кількості та місць розташування ТЕС на твердих побутових відходах сформулюємо так

$$\min_W N \left(P, \sum_{i=1}^N Q_i \right), \quad (2)$$

де W :

$$P(V) \leq P^*, \quad (3)$$

$$Q_i(R, L) \rightarrow \min, \quad (4)$$

$$S_i \in A_j(T, B, U, \alpha, H, O, K), \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^N Q_i(Q_t, Q_b, \dots) \leq Q^*, \quad (6)$$

$$E(S_i) \geq 0,6, \quad (7)$$

$$i = 1, \dots, N; j \in \{1, \dots, Z\}.$$

Тут N – кількість теплоелектростанцій на ТПВ; W – область припустимих розв'язків; $P(V)$ – електрична потужність ТЕС, яка залежить від щорічного обсягу утворених відходів V ; P^* – припустима електрична потужність ТЕС на ТПВ; $Q_i(R, L)$ – вартість перевезення твердих побутових відходів мережею R та подачі електроенергії мережею L ; S_i – площадка для розміщення i -тої ТЕС на ТПВ; $i = 1, \dots, N$; $A_j(T, B, U, \alpha, H, O, K)$ – припустима область розміщення ТЕС на ТПВ, яка визначається наявністю транспортних мереж T , рівнем ґрунтових вод B , джерел водопостачання U , кутом ухилу площадки α , якістю ґрунтів H , величиною санітарно-захисної зони O , відсутністю корисних копалин та зсувів K ; $j \in \{1, \dots, Z\}$, Z – кількість припустимих областей розміщення; $Q_i(\cdot)$ – потрібні ресурси на будівництво та функціонування i -тої теплоелектростанції; $Q_b = Q_b(P, A_j)$ – ресурси на будівництво ТЕС на ТПВ; Q^* – ресурси, що виділяються на будівництво та функціонування ТЕС на ТПВ; $E(S_i)$ – енергоефективність i -тої ТЕС на ТПВ, $i = 1, \dots, N$.

Виходячи із постановки (2)–(7), можна зробити висновок, що необхідно здійснити декомпозицію задачі визначення оптимальної кількості та місць розташування ТЕС на твердих побутових відходах на такі складові:

Задача 1. Визначення різних варіантів стосовно кількості теплоелектростанцій на твердих побутових відходах та припустимих місць їх розміщення з урахуванням обмежень (5).

Задача 2. Визначення оптимальної кількості теплоелектростанцій на ТПВ з урахуванням інших обмежень задачі.

Необхідно відзначити, що задачу 1 може бути зведено до класу задач оптимізаційного геометричного проектування [10], які полягають в оптимізаційному перетворенні геометричної інформації. Прикладами таких задач є задачі оптимального розміщення, покриття, розбиття геометричних об'єктів, а також проведення оптимальних трас.

Що стосується задачі 2, то її може бути зведено до класу задач комбінаторної оптимізації, причому кількість варіантів її розв'язання буде дорівнювати

$$\beta \cdot C_Z^N, \quad (8)$$

де β – варіанти стосовно кількості теплоелектростанцій на твердих побутових відходах.

Таким чином, для розв'язання вказаних задач необхідно побудувати моделі реальних об'єктів S_i , $i = 1, \dots, N$, та A_j , $j = 1, \dots, Z$. Моделі зазначених об'єктів можуть бути представлені за допомогою геометричної інформації про φ -об'єкти [10], які

являють собою непорожню множину $S \subset R^2$, при цьому S – канонічно замкнена або канонічно відкрита множина; внутрішність ($\text{int } S$) і замикання ($\text{cl } S$) множини S мають однаковий гомотопічний тип.

Геометрична інформація про φ -об'єкти задається таким чином

$$G = (\{s\}, \{m\}, \{u\}), \quad (9)$$

де $\{s\}$ – сукупність просторових форм геометричних об'єктів; $\{m\}$ – метричні характеристики; $\{u\}$ – параметри розміщення даних об'єктів.

Оскільки задача визначення оптимальної кількості та місць розташування теплоелектростанцій на твердих побутових відходах розглядається у просторі R^2 , то геометрична інформація про об'єкти розміщення S_i , $i = 1, \dots, N$ може бути представлена так

$$G_i = (\{s_i\}, \{m_i\}, \{u_i\}), \quad (10)$$

де $\{s_i\}$ – багатокутник; $\{m_i\} = \{x_{i,v}, y_{i,v}\}$ – координати вершин багатокутника у локальній системі координат; $v = 1, \dots, n_i$, причому n_i – кількість вершин багатокутника, нумерація вершин – проти годинникової стрілки; $\{u_i\} = \{x_i, y_i, \theta_i\}$ – параметри розміщення початку локальної системи координат об'єкта S_i у глобальній системі координат, початок якої пов'язаний із областю розміщення, тобто відповідним регіоном.

Слід відзначити, що серед параметрів

розміщення об'єктів S_i , $i = 1, \dots, N$ є у наявності θ_i – кут повороту локальної системи координат i -го об'єкта. Це свідчить про те, що об'єкти S_i , $i = 1, \dots, N$ є неорієнтованими.

Що стосується припустимих областей розміщення ТЕС на ТПВ, A_j , $j = 1, \dots, Z$, то вони можуть бути представлені таким чином

$$G_{0,j} = (\{s_{0,j}\}, \{m_{0,j}\}, \{u_{0,j}\}), \quad (11)$$

де $\{s_{0,j}\}$ – багатокутник, $\{m_{0,j}\} = \{x_{0,j,l}, y_{0,j,l}\}$ – координати вершин багатокутника у глобальній системі координат, $l = 1, \dots, n_{0,j}$, нумерація вершин – за годинниковою стрілкою, $\{u_{0,j}\} = \{0, 0, 0\}$.

Представлення об'єктів S_i , $i = 1, \dots, N$, та A_j , $j = 1, \dots, Z$ у вигляді (10) та (11) дозволить у подальшому розробити модель визначення оптимальної кількості та місць розміщення ТЕС та ТПВ.

Висновки. У даній роботі сформульовано постановку задачі оптимального розміщення ТЕС на ТПВ. Показано, що ця задача має такі складові: визначення різних варіантів стосовно кількості теплоелектростанцій на твердих побутових відходах та допустимих місць їх розміщення з урахуванням геологічних вимог, визначення оптимальної кількості теплоелектростанцій на ТПВ з урахуванням інших обмежень. Наведено підхід до завдання вихідної інформації про ТЕС та області допустимих розміщень. Подальші дослідження будуть спрямовані на розробку моделі та методу розв'язання поставленої задачі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Конференція «Відходи в енергію», яка проходила 26–27 травня в м. Івано-Франківськ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.minregion.gov.ua/uncategorized/konferentsiyi-vidhodi-v-energiyu-yaka-prohodila-26-27-travnya-v-m-ivano-frankivsk>.
2. Тверді побутові відходи – утворення та переробка [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.saleprice.com.ua/ua/publications/540.html>.
3. Тугов А. Н. Электростанция на бытовых отходах / А. Н. Тугов // Горение и плазмохимия. – 2013. – Т. 11. – № 4. – С. 304–314.
4. Южнокорейская компания построила в Польше ТЭС на отходах за \$250 млн [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://elektrovesti.net/48601_yuzhnokoreyskaya-kompaniya-postroila-v-polshe-tes-na-otkhodakh-za-250-mln.
5. Обращение с бытовыми отходами в Швеции – перенимаем опыт! [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.biowatt.com.ua/analitikaobrashhenie-s-bytovymi-othodami-v-shvetsii-perenimaem-opyt>.
6. Про затвердження Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів: Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 19.06.1996 р. № 173 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/z0379-96>.
7. Розміщення продуктивних сил України: навч.-метод. посібник для самост. вивч. дисц. / С. І. Дорогунцов, Ю. І. Пітюренко, Я. Б. Олійник та ін. – К.: КНЕУ, 2000. – 364 с.
8. Олениченко Ю. А. Аналіз результативності впливу механізмів державного управління на процес поводження з твердими побутовими відходами на етапі їх формування [Електронний ресурс] / Ю. А. Олениченко, О. М. Соболев, М. М. Долгодуш. – Режим доступу: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/PublicAdministration/vol3/019.pdf>.

9. Чисельність населення (щомісячна інформація) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://kh.ukrstat.gov.ua/index.php/chyselnist-naseleennia-shchomisiachna-informatsiia>.

10. Стоян Ю. Г. Математические модели и оптимизационные методы геометрического проектирования / Ю. Г. Стоян, С. В. Яковлев. – К. : Наукова думка, 1986. – 268 с.

Стаття надійшла до редакції 09.03.2017

А. Н. Соболев, А. В. Максимов

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА И МЕСТ РАЗМЕЩЕНИЯ ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДАХ

В работе сформулирована постановка задачи определения оптимального количества и мест размещения теплоэлектростанций на твердых бытовых отходах. Обоснована целесообразность использования указанных теплоэлектростанций, рассмотрены основные факторы, влияющие на электрическую мощность ТЭС на отходах, а также на количество данных ТЭС в соответствующем регионе. Определены основные требования к местам расположения теплоэлектростанций с учетом размеров санитарно-защитной зоны. Осуществлена декомпозиция задачи определения оптимального количества и мест расположения ТЭС на отходах на две составляющие. Рассмотрен подход к представлению исходной информации о ТЭС на отходах и об области допустимых размещений данных объектов. Определены направления дальнейших научных исследований.

Ключевые слова: теплоэлектростанция, твердые бытовые отходы, постановка задачи, оптимальный, область допустимых размещений.

O. Sobol, A. Maksimov

THE PROBLEM STATEMENT OF DETERMINING THE OPTIMAL NUMBER AND PLACEMENT OF THERMAL POWER PLANTS ON SOLID WASTES

In the paper the problem statement of determining the optimal number and placement of thermal power plants on solid wastes was made. The expediency of use of these thermal power plants was proved. The basic factors affecting the electric power of thermal power plants on wastes and the number of these thermal power plants in the region were considered. The basic requirements for the placement of thermal power plants with the sanitary protection zone were defined. The decomposition of the problem of determining the optimal number and placement of thermal power plants on solid wastes into two components was made. The approach to the presentation of the initial information about the thermal power plants on solid wastes and the areas of possible placement of the objects was given. The directions of further research were defined.

Keywords: thermal power plant, solid wastes, problem statement, optimal, area of possible placement.

УДК 546.78

Г. М. Резніченко, к. т. н., старший викладач
Національний університет цивільного захисту України
вул. Чернишевська, 94, м. Харків, Україна, 61023

А. М. Бутенко, д. т. н., професор
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
вул. Багалея, 21, м. Харків, Україна, 61002

РОЗРОБКА ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОЇ Й РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ ЗІ СКЛАДНИМ ВМІСТОМ ПОЛІВАЛЕНТНИХ МЕТАЛІВ

Проаналізовано існуючі методи переробки вольфрамової сировини зі складним вмістом. Визначено, що ефективним, екологічно безпечним та ресурсозберігаючим способом є кислотне розчинення окремих компонентів у вторинній сировині. Запропоновано переводити у розчинний стан нікель та залізо, залишаючи вольфрам у твердій фазі. На підставі отриманих даних з кінетики розчинення з'ясовано, що для найбільшого ефекту доцільно застосовувати розведену азотну кислоту масовою часткою не більше 40 %. Досліджено кінетику розчинення нікелю і заліза, що дозволило встановити області протікання процесу, запропонувати математичні моделі й визначити кінетичні параметри: уявну енергію активації й константу швидкості за різних температур.

Ключові слова: екологічно безпечна технологія, ресурсозберігаюча технологія, вторинна сировина, вольфрамівмісні сплави, кінетика розчинення.

Постановка проблеми. Полівалентні метали застосовують у багатьох галузях промисловості, а саме в хімічній, гумовій, текстильній, фарфоровій, електрохімічних виробництвах, металургії тощо. Внаслідок цього утворюється велика кількість твердих відходів і шламу стічних вод із вмістом компонентів використовуваних полівалентних металів, які являють собою вторинну сировину. Крім того, відбувається виділення в атмосферне повітря аерозолів та легких газоподібних сполук.

Особлива небезпека полягає в тому, що практично всі полівалентні метали та їхні сполуки токсичні, оскільки мають низькі значення гранично допустимих показників. Тому гострою проблемою екологічно-техногенного характеру є запобігання забрудненню атмосферного повітря, водоймищ, ґрунтів і підземних вод внаслідок накопичення на звалищах і шламонакопичувачах твердих відходів зі складним вмістом металів та їхніх сполук. До того ж для більшості металів в Україні відсутні сировинна база й родовища, а отже виникає питання відновлення сировини з відходів.

Розробка методів і технологій переробки, що запобігають накопиченню екологічно небезпечних відходів, є основними важелями у вирішенні вказаних проблем.

Вольфрамівмісна сировина є вторинною сировиною зі складним вмістом полівалентних металів. До основних її видів відносяться відходи виробництва та використання прокату, вольфрамівмісні каталізatori, пиловидні відходи, що утворюються під час заточування інструменту, стружка, проволочка, обріз, лом, шарошечні долота, різальний інструмент, який виробив свій ресурс тощо. Враховуючи той факт, що на сьогодні в Україні відсутні промислові запаси вольфраму, то актуальним й необхідним є проведення теоретичних й експериментальних досліджень, спрямованих на розроблення екологічно-безпечного технологічного

процесу отримання вольфраму з потенційної вторинної сировини шляхом кислотного розчинення легуючих металів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існують технології переробки таких видів вольфрамівмісних відходів: відходи твердих сплавів (кускові й пилоподібні), металічного вольфраму та його сплавів, вольфрамівмісних сталей та відпрацьованих каталізatori. Для переробки окремих видів відходів розроблені різні схеми, які передбачають найбільш раціональне використання усіх складових матеріалу. Для спрощення технології й отримання якісної продукції переробляють окремо різні типи одного виду відходів [1].

Загальноприйнятим способом переробки кускових відходів твердих сплавів є сплавлення їх з натрієвою селітрою, яка являє собою сильний окиснювач. Процес проводять за температури 1073–1173 К впродовж однієї години з утворенням вольфрамату натрію.

Сплав після охолодження розчиняють у воді з наступним виділенням вольфраму за класичною схемою [2].

Недоліками вказаного способу є складність в апаратурному оформленні, висока температура, необхідна для проведення процесу, значні виділення амоніаку, що призводить до необхідності створення системи газоочищення. Результатом проведення цього процесу є отримання вольфраму лише у вигляді сполуки; вилучення металічного вольфраму потребує великої кількості додаткових технологічних операцій, пов'язаних із витратою матеріальних і енергетичних ресурсів [3–5].

Спосіб окиснювального випалення полягає в окисненні відходів твердих сплавів на повітрі за температури 1273 К з подальшою обробкою огарку розчинами соди або лугу в автоклаві. Утворений розчин Na_2WO_4 шляхом фільтрації відділяється від

осаду, який містить оксиди важких металів (Co, Fe та ін.), та переробляється за стандартною технологією [6].

Цинк-процес визнаний в наш час найбільш перспективним методом переробки відходів твердих сплавів. Суть його полягає в тому, що за умов взаємодії твердого сплаву з розплавленим цинком відбувається вибіркоче розчинення кобальту в розплаві цинку. При «вимиванні» кобальтової зв'язки структура твердого сплаву руйнується. Після певної витримки цинк відганяється, збирається в конденсаторі, переплавляється і повертається у процес. Крихка маса карбіду вольфраму, що залишилася, подрібнюється у порошок і використовується для виготовлення твердих сплавів [7, 8].

Електрохімічний метод дозволяє при достатньо простих апаратних рішеннях, з урахуванням існуючих екологічних вимог, здійснювати ефективну переробку вольфрамвмісних відходів. Анодне розчинення твердих сплавів типу ВК в електролітах, що містять HNO_3 , HCl або H_2SO_4 , супроводжується переходом кобальту в розчин з накопиченням вольфраму в анодному шламі у формі H_2WO_4 [9–11].

Переробку вольфрамвмісних відходів можна здійснювати шляхом термічної регенерації, яка містить наступні операції: окиснення за 1173 К, подрібнення впродовж двох годин, відновлення воднем за 1073 К.

Існують також фізичні методи переробки кускових відходів. До них відносять такий процес, як колдстрім [12].

Традиційні методи перероблення вольфрамвмісної сировини ґрунтуються на здатності вольфраму окиснюватись киснем повітря за умов високих температур або під час сплавлення з лугами у присутності окисників. При цьому отримують вольфраматну кислоту або амоній паравольфрамат, з яких одержують вольфрам (VI) оксид, а в подальшому і вольфрам. Однак громіздкість відомих технологічних схем, їх висока матеріальна затратність та у деяких випадках – екологічна небезпечність зумовлюють необхідність розроблення ефективніших, економічно доцільніших та екологічно безпечних методів одержання вольфраму або його сполук.

Постановка завдання та його вирішення. Проаналізувавши існуючі методи переробки визначено, що привабливим аспектом технологічного рішення з екологічно безпечної переробки вольфрамвмісної вторинної сировини є її кислотне розчинення.

Тому за мету цього дослідження було взято створення екологічно безпечної й ресурсозберігаючої технології переробки вольфрамвмісної вторинної сировини з отриманням вольфраму у вигляді окремої твердої фази й вилученням полівалентних металів, що дозволить повернути отримані компоненти у виробничий цикл зменшити забруднення навколишнього середовища.

Об'єкт дослідження – екологічно безпечна технологія вольфрамвмісної вторинної сировини.

Предмет дослідження – фізико-хімічні закономірності процесу відокремлення вольфраму від

інших компонентів вольфрамвмісної вторинної сировини.

Однак якщо для вилучення нікелю й заліза легко підібрати відповідний кислотний розчинник, то для розчинення вольфраму є необхідним використання суміші таких розчинників, а саме суміші нітратної та плавикової кислот. Проте низька розчинність фторидів феруму та нікелю у воді буде перешкоджати вилученню металів з відпрацьованого вольфрамвмісного сплаву. Таким чином, стає очевидним, що використання суміші азотної та плавикової кислот для переведення в розчинений стан всіх трьох металів не є прийнятним. У зв'язку із цим більш раціонально було б використати кислотний розчинник тільки для двох металів – нікелю та заліза, а вольфрам, в такому випадку, отримати у вигляді індивідуальної твердої фази з попередньо подрібненої до необхідного розміру часток вихідної сировини. Тому подальші дослідження з розробки технології вилучення нікелю та заліза зі сплаву вольфраму спрямовані на найбільш раціональний, з точки зору промислового впровадження, вибір однієї із трьох найбільш розповсюджених неорганічних кислот, зокрема нітратної, сульфатної і хлоридної.

Остаточний вибір кислотного реагенту можна одержати тільки на підставі проведення відповідних експериментів. Через це дослідження з одночасного вилучення заліза й нікелю проводили з використанням нітратної, сульфатної і хлоридної кислот за значення їх масової частки в розчині 35 %, що відповідало за допомогою попередніх досліджень максимальній концентрації, наприклад, хлоридної кислоти; а також за температури 318 К через те, що склад хлоридної та нітратної кислот дещо змінюється за більш високих температур.

Для проведення експерименту об'єм розчину кислоти брали у співвідношенні Т : Ж = 1 : 1. При цьому вважали, що залізо й нікель перебувають у сплаві тільки в металевому стані.

У процесі розчинення відбирали проби розчину, що утворився, об'ємом 1 см³ на аналіз вмісту тільки солей нікелю (II), виходячи з того, що нікель є, по відношенню до заліза, менш активним металом і в той же час більш дефіцитним і дорогим. Результати досліджень щодо терміну повного вилучення нікелю, тобто його вміст становить < 0,1 %, наведені в табл. 1.

Табл. 1 – Час повного вилучення нікелю із вторинної вольфрамвмісної сировини за умов застосування мінеральних кислот

Параметр	Мінеральна кислота-розчинник		
	HNO_3	HCl	H_2SO_4
Час повного вилучення, хв	53	82	94

Аналіз отриманих даних свідчить, що найкращі результати щодо вилучення нікелю із вольфрамвмісного сплаву досягаються у разі використання нітратної кислоти за вказаних вище умов проведення процесу. Більш тривалий час

вилучення нікелю зі сплаву, обумовлений застосуванням сульфатної кислоти, можна пояснити тим, що у процесі витягнення металевий вольфрам піддається корозії з утворенням на його поверхні WO_3 , що частково екранує доступ кислоти до наступних шарів матеріалу, який обробляється. Більш короткий час вилучення, обумовлений застосуванням хлоридної кислоти, у порівнянні з H_2SO_4 , можна пояснити активною дією хлорид-іона, що має менший радіус, у порівнянні із сульфат-іоном, в частині руйнування оксидної плівки на поверхні сплаву [13].

Отже, як реагент з вилучення нікелю та заліза з відпрацьованого вольфрамвмісного сплаву було обрано нітратну кислоту, застосування якої за зазначених параметрів обробки дає можливість практично повністю витягти невольфрамвмісні компоненти вказаного сплаву, тобто нікель та залізо, менш ніж за одну годину.

Встановлено, що при взаємодії відпрацьованого вольфрамвмісного сплаву з будь-якою із вказаних кислот (HCl , HNO_3 , H_2SO_4) можуть одночасно переходити в розчин у вигляді відповідних сполук і нікель, і залізо. При цьому, залежно від вмісту та природи металу, концентрації кислоти тощо, швидкість їх вилучення може бути різною.

Як ефективний реагент для вилучення невольфрамвмісних компонентів було обрано нітратну кислоту, зокрема розведenu, через те, що як залізо, так і нікель у концентрованій нітратній кислоті пасивуються, тому обробку сплаву проводили HNO_3 , масова частка якої не перевищувала 40 %.

Підготовка сировини до процесу вилучення полягала у попередньому подрібненні її до розмірів 50–70 мкм за допомогою фрикційного пресу та відцентрово-ударного млина. Далі зразки масою 0,1 кг завантажували у реактор і, з метою прискорення взаємодії їх з нітратною кислотою процес, проводили при нагріванні.

Для визначення оптимальної концентрації нітратної кислоти й температури її масову частку варіювали в діапазоні 25–40 %, а температуру – в інтервалі 318–363 К. За більш високих їх значень мало місце сильне термічне розкладання нітратної кислоти, а отже і втрати через утворення нітроген оксидів. Результати проведених досліджень представлені на рис. 1.

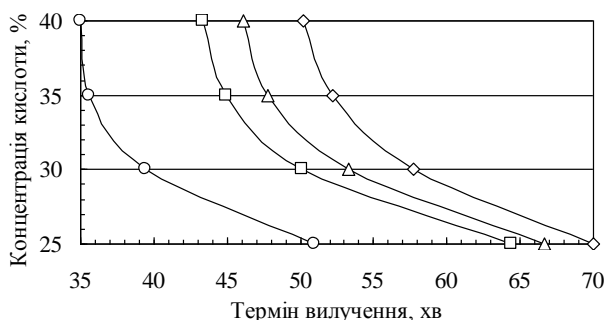
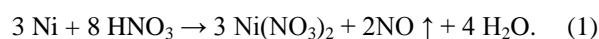


Рис. 1 – Вплив концентрації й температури розчину нітратної кислоти на термін повного вилучення невольфрамвмісних компонентів сплаву: \diamond – 318 К; \triangle – 333 К; \square – 348 К; \circ – 363 К

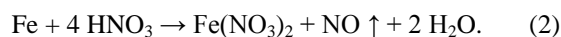
Аналіз одержаних даних свідчить, що у разі застосування як реагенту вилучення нікелю та заліза із вторинних вольфрамвмісних композиційних матеріалів нітратної кислоти з концентрацією 35 %, то можна досягти більш короткого терміну повного вилучення вказаних металів у порівнянні із застосуванням менш концентрованих розчинів цієї кислоти. В той же час підвищення концентрації, наприклад, до 40 % мас., істотно не впливає на термін вилучення невольфрамвмісних компонентів сплаву ВНЖ-90 [14].

До невольфрамвмісних компонентів у сплаві ВНЖ-90 відноситься нікель, вміст якого у сплаві становить ≈ 7 % мас., та залізо – більш активний метал, вміст якого знаходиться в межах 3 % мас.

Відомо, що нікель у відпрацьованому вольфрамвмісному сплаві типу ВНЖ знаходиться у металевому стані, тому його взаємодію з мінеральними кислотами, зокрема нітратною, можна представити у вигляді наступної хімічної реакції



Що стосується заліза, яке поряд із нікелем входить до складу нікельзалізної зв'язки псевдосплаву з підвищеними механічними властивостями системи W–Ni–Fe, взаємодія його з нітратною кислотою відбувається відповідно до рівняння реакції



Дослідження вилучення нікелю та заліза з попередньо подрібненого відпрацьованого вольфрамвмісного сплаву до розмірів 50–70 мкм, температуру проведення процесу вилучення підтримували в межах від 318 К до 363 К з кроком у 15 градусів, зразки сплаву завантажували масою 0,1 кг у реактор і проводили його обробку.

Через певні проміжки часу проби зразків виймали з реактора, ретельно промивали дистильованою водою, висушували за температури 393 К і аналізували на вміст нікелю та заліза за допомогою лазерного маспектрометра ЕМАЛ-2, з метою обчислення ступеня їх вилучення.

Обробку експериментальних даних проводили за допомогою математичного пакета Statistica 6.0. Отримана залежність ступеня вилучення нікелю від температури і тривалості обробки зразків відпрацьованого вольфрамвмісного сплаву нітратною кислотою задовільно описується нижченаведеним рівнянням (3), коефіцієнт кореляції (R) якого становить 0,96, а ступінь вилучення заліза задовільно описується аналогічним рівнянням (4), але коефіцієнт кореляції становить 0,97 [15]:

$$\varphi_1 = 4,2 \cdot \tau + 2,62 \cdot T + 0,002 \cdot \tau \cdot T - \left(0,06 \cdot \tau^2 + 0,03 \cdot T^2 + 493,7 \right), \quad (3)$$

$$\varphi_2 = 8,44 \cdot \tau + 1,59 \cdot T - \left(0,19 \cdot \tau^2 + 0,002 \cdot T^2 + 0,03 \right), \quad (4)$$

де $\phi_{1,2}$ – ступінь вилучення нікелю та заліза відповідно, %; τ – термін обробки подрібненого сплаву нітратною кислотою, хв; T – температура обробки, К.

Залежність ступеня вилучення нікелю та заліза від терміну контактування подрібненого вольфрамвмісного сплаву з нітратною кислотою представлена на рис. 2 та рис. 3 відповідно.

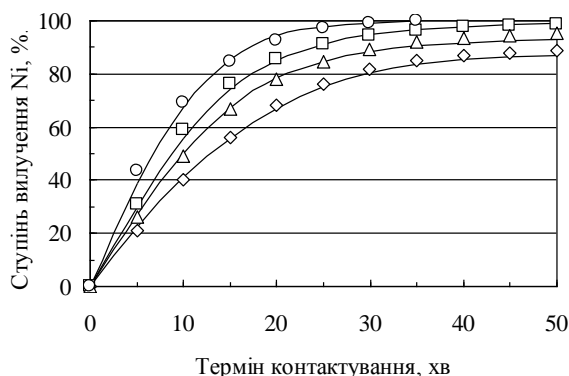


Рис. 2 – Залежність ступеня вилучення нікелю від терміну контактування відпрацьованого вольфрамвмісного сплаву з нітратною кислотою за: \diamond – 318 К; \triangle – 333 К; \square – 348 К; \circ – 363 К

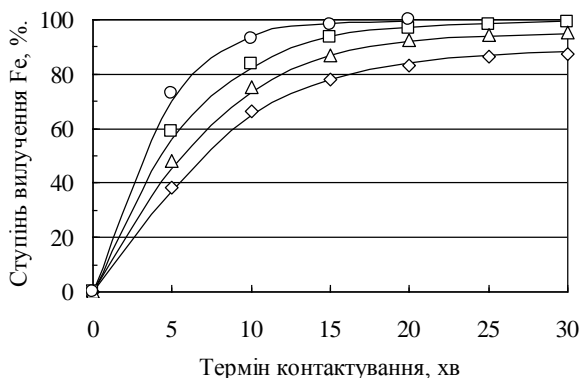


Рис. 3 – Залежність ступеня вилучення заліза від терміну контактування відпрацьованого вольфрамвмісного сплаву з нітратною кислотою за: \diamond – 318 К; \triangle – 333 К; \square – 348 К; \circ – 363 К

Отримані результати, що стосуються ступеня вилучення нікелю та заліза із вторинної

вольфрамвмісної сировини, були оброблені за рівняннями (5) та (6), які відображають процеси розчинення твердих тіл, що протікають у кінетичній та дифузійній областях відповідно [16]:

$$1 - (1 - \phi)^{\frac{1}{3}} = k\tau, \quad (5)$$

$$1 - \frac{2}{3}\phi - (1 - \phi)^{\frac{2}{3}} = k\tau, \quad (6)$$

де k – константа швидкості реакції, хв^{-1} .

У випадку нікелю зіставлення розрахованих даних приводить до висновку, що процес його вилучення нітратною кислотою досить добре описується рівнянням (6), тобто він протікає в дифузійній області, кінетику якого відображено на рис. 4.

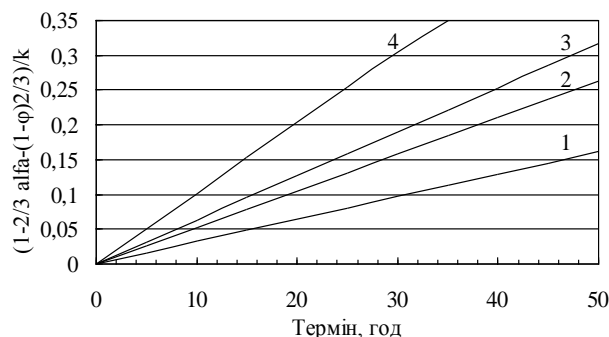


Рис. 4 – Кінетика вилучення нікелю нітратною кислотою відповідно до рівняння (6) за: 1 – 318 К; 2 – 333 К; 3 – 348 К; 4 – 363 К

Але на початковій стадії процес описується рівнянням (5), що вказує на його протікання у кінетичній області з подальшим переходом у дифузійну. До того ж взаємодія реагентів поступово переміщується із зовнішньої поверхні у глибину пор і процес вилучення нікелю починає поступово лімітуватися також і дифузиею нітратної кислоти у тріщини його частинок.

Аналіз даних у випадку вилучення заліза свідчить, що процес його вилучення нітратною кислотою, на відміну від нікелю, цілком відповідає рівнянню (6), тобто він протікає тільки в дифузійній області [17].

Табл. 2 – Кінетичні параметри процесу вилучення нікелю та заліза з вольфрамвмісного сплаву

Кінетичні параметри	Температура, К			
	318	333	348	363
Вилучення нікелю:				
Константа швидкості k , хв^{-1}	$3,29 \cdot 10^{-4}$	$3,34 \cdot 10^{-4}$	$3,41 \cdot 10^{-4}$	$3,47 \cdot 10^{-4}$
Уявна енергія активації E_a , кДж/моль	25,1			
Вилучення заліза:				
Константа швидкості k , хв^{-1}	$5,15 \cdot 10^{-3}$	$5,2 \cdot 10^{-3}$	$5,28 \cdot 10^{-3}$	$5,35 \cdot 10^{-3}$
Уявна енергія активації E_a , кДж/моль	17,8			

На рис. 5. відображено кінетику вилучення заліза з відпрацьованого вольфрамвмісного сплаву.

На підставі отриманих експериментальних та розрахункових даних було обчислено кінетичні параметри процесу вилучення нікелю та заліза з подрібненої до розмірів 50–70 мкм вторинної вольфрамвмісної сировини типу ВНЖ-90 нітратною кислотою, які подані в табл. 2.

Знайдене значення уявної енергії активації процесів вилучення нікелю і заліза, що розрахована за аналітичним методом [18], складає відповідно 25,1 кДж/моль і 17,8 кДж/моль, що також свідчить про протікання процесу вилучення переважно в дифузійній області [19].

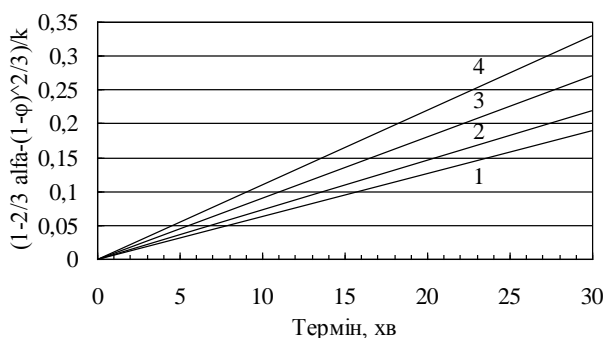


Рис. 5 – Кінетика вилучення заліза нітратною кислотою відповідно до рівняння (6) за: 1 – 318 К; 2 – 333 К; 3 – 348 К; 4 – 363 К.

З метою одержання більш переконливих доказів висловлених вище висновків, поряд із рівняннями (5, 4) використали також рівняння, одне з яких описує протікання процесу витягнення твердих тіл у кінетичній області (7), інше – у дифузійній (8):

$$1 - \varphi_{1,2} = \frac{\tau}{T_s}, \quad (7)$$

$$1 - \varphi_{1,2}^{\frac{2}{3}} = \frac{\tau}{T_s}, \quad (8)$$

де φ_1, φ_2 – ступінь вилучення нікелю та заліза із сплаву відповідно, д.о.; τ – поточний момент часу, хв.; T_s – час повного витягнення, хв.

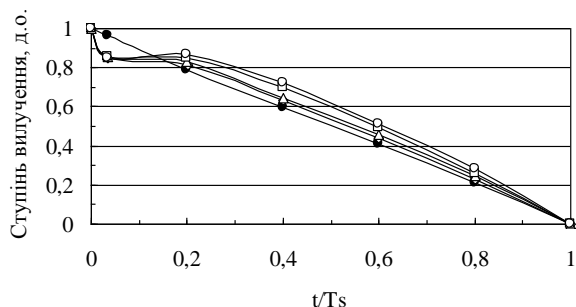


Рис. 6 – Кінетичні криві вилучення нікелю нітратною кислотою: \diamond – 318 К; \triangle – 333 К; \square – 348 К; \circ – 363 К; \bullet – діагональ

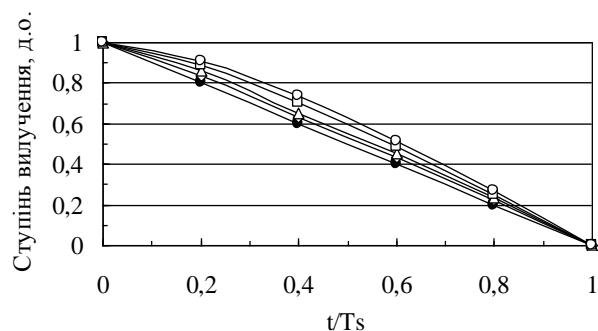


Рис. 7 – Кінетичні криві вилучення заліза нітратною кислотою: \diamond – 318 К; \triangle – 333 К; \square – 348 К; \circ – 363 К; \bullet – діагональ

Область протікання процесу вилучення нікелю та заліза нітратною кислотою можна визначити також і шляхом зіставлення експериментальних даних із двома різнорідними за конфігураціями кривими (рис. 6, 7). Процес, який характеризується кривою, що перебуває в нижній частині розділеного по діагоналі графіка, протікає в кінетичній області, а процес, що характеризується кривою, яка знаходиться у верхній частині – у дифузійній.

Аналізуючи рис. 6 можна констатувати, що процес вилучення нікелю із сплаву вольфрамвмісного сплаву в основному протікає в дифузійній області, однак на початку проведення процесу вилучення перебігає у кінетичній області. На початковій стадії проведення процесу, у випадку нікелю, спостерігаються певні відхилення від апроксимуючої прямої, на відміну від заліза. Цей факт можна пояснити тим, що на початку процес розчинення нікелю протікає в кінетичній області, оскільки кількість непрореагованої нітратної кислоти ще досить велика й нікель знаходиться на зовнішній поверхні частинок сплаву. Потім фронт взаємодії зміщується із зовнішньої поверхні в глибину й процес розчинення лімітується дифузійною. Крім того, рівняння (7) й (8) складені для випадку, коли частинки, що містять речовину, яка підлягає вилученню, мають ідеальну сферичну форму. У нашому випадку форма частинок далека від сферичної: має гострі кути й тріщини, з яких нікель витягається значно швидше [20].

Отриманий розчин нітратів невольфрамвмісних компонентів разом із металічним вольфрамом вилучали із реактора й розділяли на нутч-фільтрі. Твердий залишок відмивали від нітратної кислоти дистиллятом до негативної проби на йони NO_3^- , висушували за температури 383 К і аналізували за допомогою лазерного маспектрометра ЕМАЛ-2. Вміст вольфраму в твердій фазі становив 99,9 %, що відповідає вимогам споживача.

Отже, на підставі виконаних технологічних і кінетичних досліджень в рамках технології переробки вторинної вольфрамвмісної сировини визначені особливості вилучення компонентів вольфрамвмісного сплаву, а саме нікелю та заліза із важких металічних відходів вітчизняної галузі машинобудування.

Висновки. Проаналізовано існуючі методи переробки вольфрамівмісної вторинної сировини із вмістом сполук нікелю та заліза з точки зору екологічної безпеки та ефективності відокремлення рідких металів. Запропоновано проводити селективне вилучення нікелю та заліза розчином мінеральної кислоти.

Найбільш екологічно безпечною виявилась технологія із застосуванням нітратної кислоти, як реагенту вилучення нікелю та заліза із відпрацьованого вольфрамівмісного сплаву. Безпечність цієї технології досягається значним скороченням часу негативної дії на навколишнє середовище завдяки більш швидкому відокремленню невольфрамівмісних компонентів досліджуваного сплаву.

У разі застосування нітратної кислоти її раціональна масова концентрація є 35 %, в такому

випадку можна досягти меншого терміну повного вилучення вказаних металів у порівнянні із застосуванням як менш, так і більш концентрованих розчинів кислот. Підвищення концентрації HNO_3 істотно не впливає на термін вилучення невольфрамівмісних компонентів вольфрамівмісного сплаву.

З'ясовано, що за умов проведення процесу вилучення нікелю на початку розчинення перебігає в кінетичній області, потім фронт хімічної взаємодії зміщується із зовнішньої поверхні в глибину зразка сплаву й процес розчинення лімітується вже дифузією HNO_3 до зони реакції й десорбції нітратів невольфрамівмісних компонентів з поверхні зразків у розчин, на відміну від заліза, що міститься у вольфрамівмісному сплаву, витягнення якого відбувається у відповідності з закономірностями лише дифузійного перебігу процесу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сердюк Г. Г. Технология порошковой металлургии. Часть I. Порошки / Г. Г. Сердюк, Л. И. Свистун. – Краснодар : Изд. ГО УВПО «Куб ГТУ», 2005. – 240 с.
2. Байрачний Б. І. Рідкісні розсіяні і благородні елементи. Технологія виробництва та використання: підручник / Б. І. Байрачний, Л. В. Ляшок. – Харків: НТУ «ХП», 2007. – 288с.
3. Малишев В. В. Равновесные многоэлектронные электрохимические системы с участием металлических, металлоподобных и полупроводниковых электродов в вольфраматно-молибдатных расплавах / В. В. Малишев, В. И. Шаповал, Х. В. Кольский // Семинар по электрохимии редких металлов, Апатиты: тезисы докладов. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2000. – С. 54.
4. Hairunnishaa S. Studies on the preparation of pure ammonium para tungstate from tungsten alloy scrap / S. Hairunnishaa G. K. Sendila, J. Prabhakar Rethinaraj, G. N. Srinivasana, P. Adaikkalama and S. Kulandaisamy // Received 6 January 2006; revised 9 August 2006; accepted 9 August 2006. Available online 4 October 2006. Hydrometallurgy, In Press, Corrected Proof, Available online 4 October 2006.
5. Вайнштейн И. А. Очистка водного и воздушного бассейнов на предприятиях черной металлургии / И. А. Вайнштейн, Л. И. Кононенко, Ю. И. Ильичев – М. : Металлургия. – 1975. – с. 182.
6. Jin Yi Zheng. Simhlt approaches to quality large-scale tungsten oxide nanoeedles / Jin Yi Zheng, Zhu Yan Qiu, Whitby Raymond L. D. // J. Phys. Chem. B. – 2004. – V. 108, № 40. – P. 15572 – 15577.
7. Вольдман Г. М. Разделение молибдена и вольфрама экстракцией в присутвии перекиси водорода / Г. М. Вольдман, А. Н. Зеликман // ДАН СССР. – 1977, – т. 232, вып. 3. – С. 660 – 662.
8. Чистякова В. А. Переработка отходов твердосплавного инструмента «цинковым» методом / В. А. Чистякова, В. А. Попов // Цветные металлы. – 1991. – № 2. – С. 47–49.
9. А.с. № 171856 СССР, МКИ³ В 25 J 14/00. Способ получения паравольфрамата аммония / В. М. Блаватник, Г. А. Цыганов, К. С. Кантеев, В. Н. Бегишев (СССР) – №3328234/23-07 ; заявл. 12.11.63; опубл. 22. 06.65, Бюл. №8 – 4 с. : ил.
10. Сатывалдиев А. М. Электрохимическая переработка отходов вольфрамокобальтовых тугоплавких сплавов в растворе серной кислоты / А. Сатывалдиев, Ж. Сагындыков, А. Абдукаримов // Журнал прикладной химии. – 1999. – Т. 72, № 9. – С.1554.
11. Патент на корисну модель № 28793. Україна. МПК (2006) С 25 В 1/00. Спосіб перероблення вторинної сировини вольфраму / Кунтий О. І., Івашків В. Р., Яворський В. Т., Срібна А. В., Мерцало І. П. ; заявник НУ «Львівська політехніка». – № u 200708193 ; Заявл. 18.07.2007. Опубл. 25.12.2007, Бюл. № 21. – 4 с.
12. Iatsenko G. N. Solvent extraction of molybdenum (VII), tungsten (VI) and rhenium (VII) by diisododecylamine from beach liquors / Iatsenko G. N., Palant A. A., Petrova V. A., Tagirov R. K. // Hydrometallurg. – 2001. – 60, № 1. – С. 1 – 5.
13. Резниченко В. В. Подбор минеральной кислоты для выщелачивания невольфрамсодержащих компонентов из сплава ВНЖ-90 / В. В. Резниченко, А. Н. Бутенко, О. Я. Лобойко // Хімічні проблеми сьогодення: III всеукр. наук. конф. – Донецьк: ДонНУ, 2009. – С. 142.
14. Резниченко В. В. Технология выщелачивания железа из вторичного вольфрамсодержащего сырья на примере сплава ВНЖ-90 / В. В. Резниченко, А. Н. Бутенко, О. Я. Лобойко // Основные тенденции развития химии в начале XXI века : междунар. конф. о химии. – Санкт-Петербург: СПбГУ, 2009. – С. 185 – 186.
15. Резниченко В. В. Особливості кінетики вилучення феруму із відпрацьованих вольфрамівмісних сплавів / В. В. Резниченко, А. М. Бутенко, О. Я. Лобойко // Політ-2009. Сучасні проблеми науки : матеріали IV всеукр. наук. конф. – Київ : КАІ, 2009. – С. 301.

16. Каковский И. А. Кинетика процессов растворения / И. А. Каковский, Ю. М. Поташников. – М. : Высшая школа, 1975. – 224 с.
17. Резніченко В. В. Кінетика вищолочення ніколу із вторинної вольфрамвмісної сировини / В. В. Резніченко, А. М. Бутенко, О. Я. Лобойко // Сучасні дослідження кінетики і механізму гетерогенно-каталітичних реакцій: конф. молодих дослідників, аспірантів, студентів. – Київ: Інститут фізичної хімії, 2008. – С. 37 – 38.
18. Стромберг А. Г. Физическая химия : учебник для ВУЗов / А. Г. Стромберг, Д. П. Семченко. – М. : Высшая школа, 2006. – 527 с.
19. Резніченко В. В. Кінетика вилучення феруму із сплавів на основі вольфраму / В. В. Резніченко, А. М. Бутенко, О. Я. Лобойко, Н. Б. Маркова // Вопросы химии и химической технологии. – Днепропетровск : УГХТУ. – 2009. – № 5. – С. 114 – 116.
20. Резніченко В. В. Нікол із вторинної вольфрамвмісної сировини. Особливості здобування / В. В. Резніченко, А. М. Бутенко, О. Я. Лобойко, Н. Б. Маркова // Хімічна промисловість України. – Київ. – 2009. – № 4. – С. 3 – 6

Стаття надійшла до редакції 13.03.2017

А. М. Резніченко, А. Н. Бутенко

РАЗРАБОТКА ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЙ И РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ВТОРСЫРЬЯ СЛОЖНОГО СОСТАВА С СОДЕРЖАНИЕМ ПОЛИВАЛЕНТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Проанализированы существующие методы переработки вольфрамового сырья сложного состава. Определено, что эффективным, экологически безопасным и ресурсосберегающим способом является кислотное растворение отдельных компонентов вторичного сырья. Предложено переводить в растворимое состояние только никель и железо, оставляя вольфрам в твердой фазе. На основании полученных данных кинетики растворения выяснено, что для достижения наибольшего эффекта целесообразно применять неконцентрированную азотную кислоту массовой долей не более 40 %. Исследована кинетика растворения никеля и железа, что позволило установить области протекания процесса, предложить математические модели и определить кинетические параметры: кажущуюся энергию активации и константу скорости для различных температур.

Ключевые слова: экологически безопасная технология, ресурсосберегающая технология, вторичное сырье, вольфрамсодержащие сплавы, кинетика растворения.

A. Reznichenko, A. Butenko

DEVELOPMENT OF ENVIRONMENTALLY FRIENDLY AND RESOURCE SAVING TECHNOLOGIES RECYCLING COMPOSITION CONTAINING POLYVALENT METAL

Analyzed the existing methods of processing of tungsten raw materials of complex composition. Determined that an effective, environmentally safe and resource acid dissolution method is recycled individual components. Proposed translate only solubilized nickel and iron, leaving tungsten in the solid phase. Based on the dissolution kinetics of the data revealed that in order to achieve the greatest effect it is advisable to use non-concentrated nitric acid mass fraction of 40%. Results of studying the kinetics of dissolution of nickel and iron, which are allowed to set the process flow of the region and propose a mathematical model to determine the kinetic parameters: the apparent activation energy and the rate constant for different temperatures.

Keywords: environmentally sound technologies, resource-saving technology, secondary raw materials, tungsten alloys contain the raw, kinetics of dissolution.

С. А. Вамболь, д. т. н., профессор, зав. каф.

В. В. Вамболь, д. т. н., доцент, профессор каф.

Национальный университет гражданской защиты Украины

ул. Чернышевская, 94, г. Харьков, Украина, 61023

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ДИСПЕРГИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ

Рассмотрена актуальная научно-прикладная проблема создания систем управления экологической безопасностью с применением диспергирующих устройств. Для подавления процессов образования и ограничения распространения токсичных веществ в атмосфере при добыче, обработке и транспортировке сыпучих пылящих материалов, ликвидации пожаров, термической обработке отходов предложены системы, которые используют многофазные дисперсные структуры. Для диспергирования жидкости применены оросительные системы типа «брандспойт», атомайзер и центробежные форсунки, встроенные в теплообменник. Показана зависимость возможности создания эффективных мелкодисперсных структур от особенностей технических устройств в условиях действия природных и техногенных факторов опасности различного генезиса. Методом численного моделирования процессов организации пространственных мелкодисперсных структур определены наиболее эффективные режимы подачи жидкости для различных экологически-опасных факторов.

Ключевые слова: экологическая безопасность, загрязнение атмосферы, многофазные мелкодисперсные структуры, оросительное охлаждение, численное интегрирование.

Постановка проблемы. Промышленные предприятия, объекты по разработке полезных ископаемых и проведению обогатительных работ, места скопления опасной продукции и отходов различного генезиса являются техногенно-опасными объектами. Их опасность реализуется в виде поражающих воздействий на человека и окружающую природную среду. Следует отметить, что негативное воздействие, как правило, проявляется не только при возникновении чрезвычайной ситуации, но и при функционировании таких объектов в штатном режиме.

В связи с систематическим загрязнением окружающей среды при функционировании техногенно-опасных объектов антропогенная и техногенная нагрузка на природные компоненты в Украине в несколько раз превышает соответствующие показатели в развитых странах мира. Критерием может выступать продолжительность жизни, которая составляет для Украины примерно 66 лет, в то время как для Польши этот показатель равен 74 годам, а в Швеции – примерно 80 годам [1].

В связи с этим, возникает необходимость применения мероприятий по обеспечению экологической безопасности в зонах возникновения опасностей разного генезиса. При этом на первый план, зачастую выступает себестоимость мероприятий, направленных на управление экологической безопасностью.

Следует отметить, что некоторые естественные и техногенные факторы формирования экологической опасности имеют общность с точки зрения характера влияния на окружающую среду. Этот факт позволяет применять мелкодисперсные структуры, содержащие в своем составе технологические жидкости, для подавления процессов образования и ограничения распространения токсичных веществ в атмосфере. Поэтому создание на этой основе универсального

способа, который обеспечивал бы экологическую безопасность в условиях действия естественных и техногенных факторов опасности разного генезиса, а также экономию энергетических и материальных ресурсов, является перспективным и актуальным.

Анализ последних исследований и публикаций. В процессах погрузки и разгрузки сыпучих пылящих материалов, при разрушении горных пород и т. д. в атмосферный воздух поступает значительное количество мелкодисперсных (взвешенных) частиц, которые обеспечивают негативные изменения в геосфере и приводят к заболеваниям человека [2–4]. Это касается разных регионов Украины, в которых имеются месторождения полезных ископаемых.

В процессе помола угля в мельницах основным опасным для окружающей среды ингредиентом является угольная пыль, количество выбросов которой зависит от герметичности технологического оборудования. При хранении и транспортировке угля после операции помола также имеет место выделение угольной пыли. Для уменьшения таких выбросов используются различные эмульсии на основе синтетических полимерных материалов, отходов целлюлозно-бумажного производства и продуктов и отходов нефтепереработки [5]. Однако такой способ усложняет дальнейшее использование угля.

Утилизация твердых отходов потребления с использованием термических способов позволяет снизить экологическую нагрузку вследствие уменьшения их объемов на полигонах и свалках. Однако сам процесс термической утилизации сопровождается вредными выбросами в окружающую природную среду [6, 7]. Экологически эффективным этот процесс может быть в случае предотвращения образования высокотоксичных веществ (таких как диоксины и фураны) на этапе термохимической обработки

отходов. Исследованию механизма формирования диоксинов при тепловой обработке отходов уделено большое внимание в работе [8], а в работе [9] авторы предложили систему очистки, научно обосновали ее эффективность и экспериментально это подтвердили. Однако реализовать такую систему экономически сложно.

Пожары в местах складирования отходов, на промышленных предприятиях и других техногенных объектах сопровождаются высокоинтенсивным энерговыделением и образованием экологически опасных молекулярных соединений. При этом такие чрезвычайные ситуации характеризуются поступлением в атмосферу значительного количества монооксида углерода, диоксида углерода, сажи и т. д., но специальных мероприятий по локализации (недопущению распространения) этих веществ не проводится.

Несмотря на многочисленные исследования процессов улавливания пыли, газообразных токсичных веществ и аэрозолей, разработанные методы и средства для подавления указанных процессов, применяемые в производствах Украины, являются малоэффективными.

Постановка задачи и ее решение. Постановка мелкодисперсных водяных завес и завес из нейтрализующих растворов – это основной способ подавления процессов образования, ограничения распространения и нейтрализации токсичных веществ. Для его реализации используют распылители различной конструкции.

До настоящего времени отсутствуют теоретически обоснованные методики расчета режимов формирования мелкодисперсных структур, которые бы позволили определить расчетным путем их основные параметры: геометрические размеры в различных условиях, пространственное распределение концентрации капель, взаимодействие с воздушными и тепловыми потоками, влияние технических параметров, методы их оптимизации. Опыт проектирования систем постановки водяных завес показывает необходимость углубленного исследования процессов доставки диспергированной жидкости и ее дальнейшего осаждения для организации необходимой пространственной структуры водяного аэрозоля и выработки на этой основе эффективных конструктивных решений. Именно это исследование и является целью данной работы.

Объектом исследования являются системы постановки жидкостных мелкодисперсных структур.

Предмет исследования – зависимость возможности организации необходимой дисперсной многофазной структуры от технических особенностей устройств для ее реализации.

Под дисперсными многофазными структурами мы понимаем структуры, состоящие из мелкодисперсных частиц технологической жидкости или воды, воздуха и включенных частиц (частиц пыли, химических компонентов, биодеструкторов), которые устанавливаются в рабочей зоне и могут существовать в ней заданное технологическим процессом время. Простейшей

структурой может быть водяная завеса – поток распыленной воды, состоящий из мелких капель, способный частично или полностью отделить одну область пространства от другой. Для теоретического описания неоднородной среды, содержащей компоненты с различным фазовым состоянием, такие как атмосферный воздух и водяные капли, математической формой записи являются уравнения Навье – Стокса и уравнение баланса действующих на каплю сил. Эти уравнения в области произвольной формы с заданными краевыми условиями могут быть совместно решены современными численными методами, выделившимися в самостоятельную отрасль знаний – вычислительную аэрогидродинамику.

Как показано в работах [10, 11], физико-математическая постановка задачи формулируется таким образом. Взаимодействие фаз учитывается моделью «капля – источник в ячейке», в которой присутствие частиц в потоке проявляется через дополнительный источник количества движения в осредненных по Рейнольдсу уравнениях Навье–Стокса, замыкающихся полуэмпирической моделью турбулентности $k-\epsilon$ -типа.

Математическое описание газовой и дисперсной фаз, а также межфазного взаимодействия подробно представлено в работах [12, 13, 14]. В исследованиях [12, 13] авторами показана возможность обеспечения экологической безопасности при использовании оросительной системы «брандспойт» для улавливания пылевых частиц и их осаждения в пределах рабочей зоны.

Особенностью исследования является то, что при моделировании водяной завесы зон возникновения опасностей природного или техногенного характера, имеющих размер до нескольких десятков метров (в случае образования дымового или пылевого облака, например, над промышленным объектом, полигоном хранения отходов или торфяными месторождениями в случае возникновения чрезвычайной ситуации) необходимо учитывать атмосферные явления. То есть в условиях штиля, встречного и попутного ветра расчетная область водяной завесы должна охватывать достаточный, для предотвращения распространения загрязненного облака, фрагмент пространства с источником формирования экологической опасности, расположенным внутри него.

Исследуя несколько вариантов орошения пылевого облака брандспойтом, различавшихся углом подачи, полным напором, скоростью и направлением ветра, авторам удалось выявить наиболее эффективные способы и режимы подачи воды системами пылеподавления при различной ветровой обстановке.

При моделировании водяной завесы, создаваемой атомайзером, в отличие от брандспойта, расчетная область представляет собой четверть шара диаметром D_a , которая соответствует ограниченному фрагменту атмосферы, окружающей сопло диаметром d_c , с вычтенным из него диаметром сопла (рис. 1).

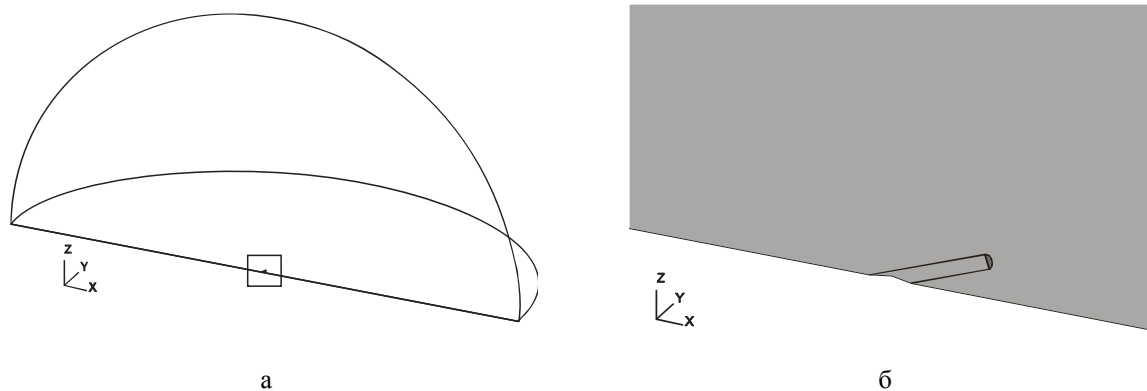


Рис. 1 – Расчетная область (угол наклона сопла 20°): а – вся расчетная область; б – фрагмент

Исследуемая область покрывается неравномерной расчетной сеткой, включающей около 50 тыс. тетраэдрических ячеек (рис. 2). Методом численного интегрирования исследованы 30 вариантов постановки

водяной завесы, различавшихся диаметром среднестатистических капель D_k , углом подачи α и скоростью выдува капель V_{k0} атомайзером.

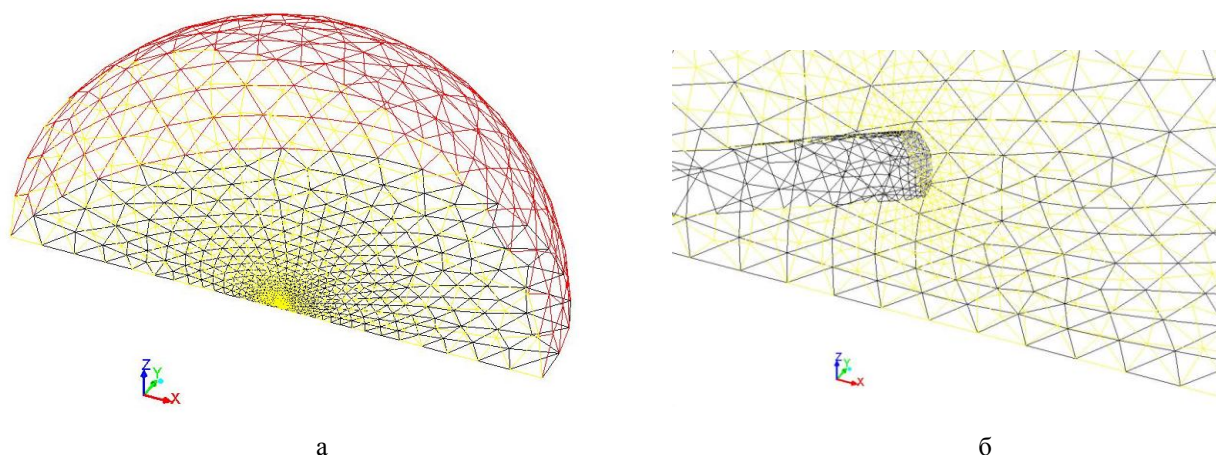


Рис.2 – Расчетная сетка (угол наклона сопла – 20°): а – вся расчетная область; б – фрагмент

Интегрируя систему уравнений движения капли (1) методом Рунге–Кутты 4-го порядка с переменным шагом (2), можно определить параметры газа в любой точке расчетной области

τ_a – время аэродинамической релаксации, определяемое выражением

$$\frac{du_{pj}}{dt} = \rho_p \frac{\pi d_p^3}{6} g_j - \frac{3\rho C_R}{4\rho_p d_p} (u_{pj} - u_j) \left[\sum_j (u_{pj} - u_j)^2 \right]^{\frac{1}{2}}; \quad (1)$$

$$\frac{dx_{pj}}{dt} = u_{pj},$$

$$\tau_a = \frac{\rho_p d_p^2}{18\mu}.$$

Устойчивость численного решения может быть обеспечена применением метода нижней релаксации независимых переменных

$$\phi = \phi^{n-1} + \alpha_n (\phi^n - \phi^{n-1}), \quad (3)$$

где $j = 1, 2, 3$, x_{pj} – декартовы координаты капли,

где ϕ – произвольная скалярная величина; n – номер итерации; $\alpha_n = 0 \dots 1$ – параметр нижней релаксации.

$$\Delta t = \frac{\tau_a}{\chi}, \quad (2)$$

где χ – коэффициент «размельчения», задаваемый в зависимости от желаемой точности интегрирования;

Количество итераций, необходимых для решения стационарных задач аэрогидродинамики, определяется как алгоритмом разностной схемы, так и критерием оценки сходимости решения. Для оценки сходимости предлагается применять интегральный критерий относительно вектора консервативных переменных.

Условие сходимости решения можно представить в следующем виде

$$\sqrt{\frac{\sum R_i^2}{V^2}} \leq \varepsilon, \quad (4)$$

где R_i – невязки для разностных уравнений, моделирующих перенос независимых переменных; V – объем расчетной ячейки; ε – критерий сходимости.

Численное решение считаем сошедшимся, если выполняется одно из следующих условий:

- выполняется условие (4);
- решение больше не изменяется при продолжении итераций.

Табл. 1 – Расчетные параметры водяной завесы

D_k , мкм	V_{k0} , м/с	α , град	Z_{max} , м	X_{max} , м	ΔX , м
10	0,5	10	3,3	62	32
10	0,5	20	12	95	12
10	0,5	30	27	87	14
10	0,5	45	63	90	21
10	0,5	60	88	69	16
10	1	10	4	106	46
10	1	20	23	>200	77
10	1	30	45	158	30
10	1	45	110	>200	>70
10	1	60	148	110	5
7	0,5	10	4	107	47
7	0,5	20	22	>200	>32
7	0,5	30	46	164	37
7	0,5	45	>110	>200	>60
7	0,5	60	152	110	5
7	1	10	5	190	72
7	1	20	32	>200	–
7	1	30	>80	>200	–
7	1	45	>130	>200	–
7	1	60	>170	>200	–
15	0,5	10	2	34	24
15	0,5	20	8	45	18
15	0,5	30	16	47	18
15	0,5	45	28	43	13
15	0,5	60	44	34	10
15	1	10	3	58	30
15	1	20	11	83	12
15	1	30	25	80	21
15	1	45	51	76	11
15	1	60	79	62	22

Сеточную независимость решения оцениваем путем сравнения численных результатов, полученных на нескольких расчетных сетках, различающихся количеством расчетных ячеек.

В табл. 1 сведены расчетные геометрические параметры водяной завесы: максимальная высота завесы Z_{max} , максимальная дальность орошения подстилающей поверхности X_{max} и протяженность пятна орошения ΔX для 30 рассчитанных вариантов.

Результаты численного интегрирования, представленные в табл. 1, демонстрируют следующее:

- капли, подаваемые под малыми углами α («настильно»), образуют водяную завесу с малой максимальной высотой Z_{max} , но с большими дальностью орошения подстилающей поверхности X_{max} и протяженностью пятна орошения ΔX . Капли, подаваемые под большими углами α («навесно»), наоборот, образуют водяную завесу с большой максимальной высотой Z_{max} , но с малыми дальностью орошения подстилающей поверхности X_{max} и протяженностью пятна орошения ΔX ;

– с увеличением скорости подачи капель V_{k0} , независимо от угла подачи капель α и их диаметра D_k , максимальная высота водяной завесы Z_{max} и дальность орошения подстилающей поверхности X_{max} монотонно возрастают;

– с увеличением угла подачи капель α , независимо от скорости подачи капель V_{k0} и их диаметра D_k , максимальная высота водяной завесы Z_{max} монотонно возрастает;

– с увеличением угла подачи капель α дальность орошения подстилающей поверхности X_{max} изменяется немонотонно. Вид функции $X_{max}(\alpha)$ зависит от диаметра капель D_k : для мелких капель ($D_k = 7$ мкм и $D_k = 10$ мкм) функция $X_{max}(\alpha)$ имеет два локальных максимума, тогда как для более крупных капель ($D_k = 15$ мкм) – один;

– для мелких капель ($D_k = 7$ мкм и $D_k = 10$ мкм), независимо от начальной скорости их подачи V_{k0} , и для крупных капель ($D_k = 15$ мкм), подаваемых с высокой начальной скоростью ($V_{k0} = 1$ м/с), с увеличением угла подачи капель α протяженность пятна орошения ΔX изменяется немонотонно, а именно имеет два локальных максимума. Для крупных капель ($D_k = 15$ мкм), подаваемых с низкой начальной скоростью ($V_{k0} = 0,5$ м/с) с увеличением угла подачи капель α протяженность пятна орошения ΔX монотонно уменьшается;

– для мелких капель ($D_k = 7$ мкм и $D_k = 10$ мкм), подаваемых под небольшими углами ($\alpha = 10^\circ$, $\alpha = 20^\circ$, $\alpha = 30^\circ$ и $\alpha = 45^\circ$), с увеличением скорости подачи капель V_{k0} протяженность пятна орошения ΔX возрастает, тогда как капли, подаваемых под углом $\alpha = 60^\circ$, – уменьшается. Для крупных капель ($D_k = 15$ мкм) зависимость $\Delta X(V_{k0})$ немонотонна и имеет два локальных максимума.

При моделировании водяной завесы для подавления процессов образования диоксинов во время термической обработки отходов приходится варьировать другими параметрами технических устройств [14]. Это объясняется следующим.

Образование диоксинов происходит из углеводородов и хлоридов, например, таких как фенол и HCl в газовой фазе пламени. Эти образования не стабильны и подвержены разрушению в условиях действия температур 850 °C и выше. Однако при понижении температуры и наличии в газовой фазе углеводородов и хлоридов происходит повторное формирование этих токсичных веществ. Причем наиболее активно этот процесс наблюдается в интервале температур 300...450 °C. К факторам формирования диоксинов относятся скорость охлаждения газовой фазы в указанном температурном диапазоне и наличие кислорода.

Если взять во внимание тот факт, что современные технологии утилизации отходов основаны на их высокотемпературной обработке 1000...1200 °C и выше, а снизить температуру необходимо до 300 °C и ниже, то следует заметить, что достаточно трудно реализовать резкое охлаждение газовой фазы в таком широком диапазоне температур.

Если применить для охлаждения газа водяные завесы, то мы будем иметь дело с процессами течения и теплообмена двухфазной многокомпонентной среды с фазовым превращением (испарением). Для организации необходимой пространственной структуры водного аэрозоля и выработки на этой основе эффективных конструктивных решений при моделировании процессов охлаждения учитывают технические характеристики форсунок (они обеспечивают дисперсность распыления воды), скорость подачи диспергированной жидкости, параметры газоотводящего канала (или теплообменника), в котором установлены форсунки. Особенностью является то, что установить водяную завесу необходимо в замкнутом объеме, а не на открытом пространстве. Следовательно, водяная завеса должна отвечать таким требованиям:

- обеспечение резкого снижения температуры газа до безопасной величины;
- исключение скопления излишка жидкости на стенках и дне конструкции теплообменника.

Подход к решению данной задачи аналогичен, как и для задач, описанных выше.

Распределение объемов капель в распыленной струе основано на данных [15] и хорошо описывается формулой Розина–Раммлера. Числовые значения параметров подачи воды форсунками, для трех вариантов подачи воды, различающихся мелкостворностью распыления воды и скоростью ее выделения из сопла, представлены в табл. 2. При этом неравномерная расчетная сетка включает 77087 полиэдрических ячеек.

Считаем, что элементарный объем газа в начальный момент времени находится в центре поперечного сечения проточной части теплообменника, предшествующего зоне впрыска воды.

Табл. 2 – Значения параметров подачи диспергированной жидкости форсунками

Наименование параметра	Номер варианта		
	1	2	3
d_0 , м	0,0006	0,0009	0,0011
$A_{\phi}/(D_s d_0)$	0,75	1,3	1
C_d	0,43	0,56	0,50
v , м/с	10	3	3
Δp , Па	48228	5650	3189
Re_{Σ}	3858	2257	1957
n	3,77	3,99	3,6

В процессе охлаждения газа температура капли диспергированной жидкости изменяется до момента достижения ею температуры кипения, что, в соответствии с балансом тепла, определяется уравнением

$$m_p c_p \frac{dT_p}{dt} = \alpha A_v (T_{\infty} - T_p) + L \frac{dm_v}{dt}, \quad (5)$$

где c_p – теплоемкость капли; α – коэффициент теплоотдачи между каплей и газом, который определяется экспериментально; A_v – площадь поверхности капли; L – скрытая теплота испарения; T_p – температура капли; T_{∞} – локальная температура газа.

Результаты экспериментальных исследований приведем в виде критериальных зависимостей Nu (Re , Pr), где Nu – число Нуссельта. С учетом уравнений (14) и (20) [16] уравнение (5) можно записать в виде:

$$\frac{dT_p}{dt} = \frac{(T_{\infty} - T_p)}{\Theta} + \frac{Q_L}{\Theta}, \quad (6)$$

$$Q = \frac{LShpD(c_s - c_{\infty})}{Nu\lambda}, \quad (7)$$

$$\Theta = \frac{\rho_p d_p^2 c_p}{6Nu\lambda}. \quad (8)$$

Когда температура капли достигает точки кипения, применяется уравнение скорости кипения

$$\frac{d(d_p)}{dt} = - \frac{4\lambda}{\rho_p c_{p\infty} d_p} (1 + 0,23) Re_p^{0,5} \times \ln \left[1 + \frac{c_{p\infty} (T_{\infty} - T_p)}{L} \right], \quad (9)$$

где $c_{p\infty}$ – теплоемкость газа.

Рассматривая движение элементарного объема газа в проточной части теплообменника, построен график зависимости координаты Z элементарного объема газа от времени τ (рис. 3).

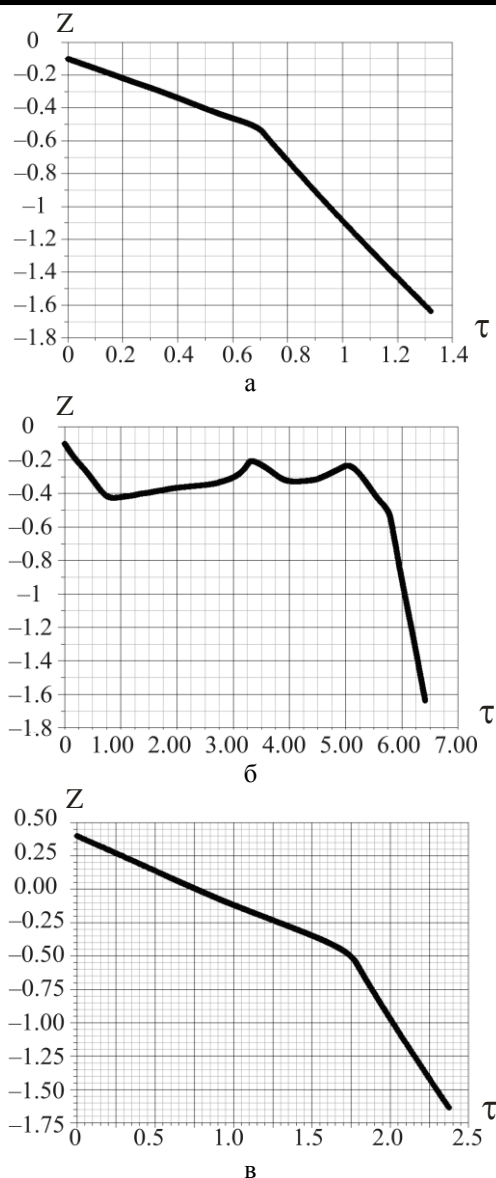


Рис. 3 – Зависимость координаты Z элементарного объема газа от времени τ : а – вариант № 1 (в соответствии с табл. 2); б – вариант № 2; в – вариант № 3

Исследование показало, что полное время пребывания элементарного объема газа в проточной части теплообменника для исследуемых вариантов (табл. 2) составляет соответственно 1,32 с, 6,42 с и 2,37 с.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стратегія державної екологічної політики України на період до 2020 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.menr.gov.ua/about/strategy>. – 12.12.2016.
2. Лысенко А. В. Влияние загрязнения воздушного бассейна на геоэкологическую ситуацию в Кривбассе / А. В. Лысенко, Р. В. Лашко // Регіональні проблеми природокористування та охорона рослинного і тваринного світу: матеріали всеукр. студ. наук.-практ. конф. – Кривий Ріг: Криворізький державний педагогічний університет, 2003. – С. 171–172.
3. Левкин Н. Б. Предотвращение аварий и травматизма в угольных шахтах Украины / Н. Б. Левкин. – Макеевка: МакНИИ, 2002. – 392 с.
4. Либецкий К. Пылевые опасности в горнодобывающей промышленности / К. Либецкий // Главный институт горного дела. – Катовице (Польша), 2004. – 486 с.
5. Кулик М. П. Аналіз екологічної небезпеки об'єктів теплової енергетики та методів зменшення шкідливих викидів / М. П. Кулик // Вісник інженерної академії України. – Івано-Франківськ: Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, 2014. – № 2. – С. 253–258.

Данная работа является частью научного исследования возможности применения диспергированных систем при управлении экологической безопасностью в условиях действия факторов различного генезиса и создания экологически безопасной технологии утилизации отходов. Началом исследования являются работы [10–14, 16], где разработаны математическая модель газовой и дисперсной фазы трехмерного течения газодисперсной среды с фазовым превращением (испарением) и межфазного взаимодействия. Данные модели качественно четко определяют основные особенности процессов постановки пространственных водяных структур, которые обеспечивают подавление процессов образования вредных веществ и препятствуют их распространению в атмосфере.

Выводы. Результаты численного эксперимента показывают, что предложенные математические модели процессов, которые происходят при пожарах, работе с пылящими материалами, термической обработке отходов и т. п., являются адекватными действительности и их можно считать удовлетворительными в рамках поставленной задачи. При этом существует возможность поиска наиболее эффективного варианта постановки водяной завесы, если сформулировать соответствующую задачу оптимизации.

По результатам данного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Научно обоснована возможность применения технических устройств создания мелкодисперсных структур, обеспечивающих подавление процессов образования вредных и токсичных веществ и предотвращающих их распространение в атмосфере.
2. Численное интегрирование позволяет отследить дальность орошения подстилающей поверхности и протяженность пятна орошения при подавлении экологически-опасных процессов на открытом пространстве.
3. При подавлении процессов образования токсичных веществ в замкнутых объемах (например, при термической утилизации отходов) представляется возможным отслеживать изменение импульса, массы и теплоты совокупности капель, а также температуру парогазовой смеси в различные моменты времени пребывания газа в теплообменнике.

6. Федоров Л. А. Диоксины как экологическая опасность: ретроспектива и перспективы / Л. А. Федоров // Распад и образование диоксинов при горении отходов. – М. : Наука, 1994. – Т. 13. – № 2. – С. 17–33.
7. Милош, В. В. Диоксины и их потенциальная опасность в экосистеме «человек – окружающая среда» [Электронный ресурс] / В. В. Милош. – Режим доступа: <http://crowngold.narod.ru/articles/dioxini.htm>.
8. Park H.-S. The formation of dioxins from waste incineration / H.-S. Park, J. D. Chung // J. Korea Society of Waste Management. – 2001. – Vol. 18. – P. 302.
9. Park H.-S. Medical Waste Treatment Using Plasma / H.-S. Park, B.-J. Lee, S.-J. Kim // Industrial & Engineering Chemistry. – 2005. – Vol. 11, Issue 3. – P. 353–360.
10. Вамболь С. А. Системы управления экологической безопасностью, которые используют многофазные дисперсные структуры: монография / С. А. Вамболь. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», 2013. – 204 с.
11. Вамболь, В. В. Моделирование газодинамических процессов в блоке охлаждения генераторного газа установки для утилизации отходов [Электронный ресурс] / В. В. Вамболь // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2015. – Вып. 1 (59). – Режим доступа : http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/Articles/vambol/Vambol_VV_Model_ga.pdf.
12. Моделирование процесса пылеподавления при погрузке, разгрузке и транспортировке сыпучих материалов / В. Н. Кобрин, Н. В. Кобрин, В. Е. Костюк, С. А. Вамболь // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии : сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т». – Вып. 48. – Х., 2010. – С. 248–252. – Режим доступа: http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/Articles/vambol/Vambol_SA_Model.pdf.
13. Математическая модель поведения дисперсных структур в атмосфере [Электронный ресурс] / В. Е. Костюк, Е. И. Кириладш, В. Н. Кобрин, С. А. Вамболь // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2013. – Вып. 4 (50). – Режим доступа: http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/Articles/vambol/Vambol_SA_Math_m.pdf.
14. Вамболь В. В. Математическое описание процесса охлаждения генераторного газа в установке утилизации отходов жизнедеятельности / В. В. Вамболь, В. Е. Костюк, Е. И. Кириладш // Вісник НТУ «ХП». – Х., 2015. – № 18 (1127). – С. 24–35. – Режим доступа : http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/Articles/vambol/Vambol_VV_Math%20.pdf.
15. Schmidt D. P. A Two-Dimensional, Non-Equilibrium Model of Flashing Nozzle Flow / D. P. Schmidt, M. L. Corradini, C. J. Rutland // Proceedings of the 3rd ASME-JSME Joint Fluids Engineering Conference, July 18-23, 1999, San Francisco, Calif. – American Society of Mechanical Engineers, 2000. – 1322 p.
16. Вамболь В. В. Математическое описание процесса охлаждения генераторного газа при утилизации отходов жизнедеятельности / В. В. Вамболь, В. Е. Костюк, Е. И. Кириладш // Технологический аудит и резервы производства. – 2015. – № 2/4(22). – С. 23–29. doi : 10.15587/2312-8372.2015.40467.

Статья поступила в редакцию 03.03.2017

С. О. Вамболь, В. В. Вамболь

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ ДИСПЕРГУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ В СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ

Розглянуто актуальну науково-прикладну проблему створення систем управління екологічною безпекою із застосуванням диспергуючих пристроїв. Для придушення процесів утворення й обмеження поширення токсичних речовин в атмосфері під час видобутку, оброблення і транспортування сипких матеріалів, що пилять, ліквідації пожеж, термічної обробки відходів запропоновані системи, які використовують багатофазні дисперсні структури. Для диспергування рідини застосовані зрошувальні системи типу «брандспойт», атомайзер і відцентрові форсунки, які вбудовані у теплообмінник. Показана залежність можливості створення ефективних дрібнодисперсних структур від особливостей технічних пристроїв в умовах дії природних і техногенних факторів небезпеки різного генезису. Методом чисельного моделювання процесів організації просторових дрібнодисперсних структур визначено найбільш ефективні режими подачі рідини для різних екологічно-небезпечних факторів.

Ключові слова: екологічна безпека, забруднення атмосфери, багатофазні дрібнодисперсні структури, зрошувальне охолодження, чисельне інтегрування.

S. Vambol, V. Vambol

RESEARCH OF FEATURES OF APPLICATION OF DISPERSIVE DEVICES IN MANAGEMENT SYSTEMS BY ECOLOGICAL SAFETY

The topical scientifically-applied issue of creation of the control system by ecological safety with the use of dispersive devices is considered. For suppression of the processes of creation and limitation of the toxic substances distribution in an atmosphere during extraction, processing and transportation of bulk materials, which produce dust, for fire suppression, thermal waste treatment, the systems that use multiphase dispersible structures are offered. For dispersion of the fluid the irrigation system of the nozzle type, atomizers, centrifugal atomizer, which are built into the heat exchange, are applied. The dependence of the ability to create effective fine structures on the characteristics of the technical devices in the context of natural and man-made hazards of different genesis are presented. With the help of the method of numerical simulation of the processes of spatial fine structures the most efficient modes of supplying liquid to various hazardous factors are defined.

Keywords: ecological safety, air pollution, multiphase finely dispersed structure, spray cooling, numerical integration.

ЗМІСТ

С. І. Азаров, В. Л. Сидоренко, О. С. Задунай АНАЛІЗ БЕЗПЕКИ ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ.....	3
В. А. Андронов, В. М. Стрілець ОПЕРАТИВНО-ТЕХНІЧНИЙ МЕТОД СКОРОЧЕННЯ ЧАСУ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ПОЖЕЖНО-РЯТУВАЛЬНИМ ПІДРОЗДІЛОМ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ ЕКОЛОГІЧНОГО ХАРАКТЕРУ З ВИКИДОМ НЕБЕЗПЕЧНОЇ ХІМІЧНОЇ РЕЧОВИНИ.....	8
С. Д. Цыбуля, В. Г. Старчак, К. Н. Иваненко, Н. П. Буяльская ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СРЕДЫ НА ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ.....	15
В. С. Бахарєв ФОРМУВАННЯ КОНЦЕПЦІЇ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНИТОРИНГУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ НА МУНІЦИПАЛЬНОМУ РІВНІ.....	19
Л. Я. Побережний, А. В. Яворський, В. С. Цих, А. І. Станецький, А. В. Грицанчук ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТРУБОПРОВІДНИХ МЕРЕЖ НАФТОГАЗОВОГО КОМПЛЕКСУ УКРАЇНИ.....	24
S. Vambol, O. Kondratenko RESULTS OF COMPLEX CRITERIAL FUEL AND ECOLOGICAL ASSESSMENT OF DIESEL ENGINE 2Ch10.5/12 FOR EMERGENCY AND RESCUE POWER PLANTS.....	32
И. Ф. Дадашов, А. А. Киреев, К. В. Жерноклєв ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВ ТУШЕНИЯ ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ.....	39
I. Bogdanov, V. Vambol, Y. Suchikova THE IMPROVEMENT ENVIRONMENTAL SAFETY OF NANOMATERIALS BY MEANS OF ENVIRONMENTAL ASSESSMENT.....	44
Т. Г. Лях, Е. С. Кухарук ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАЗВИТИЕ ЭРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПОЧВАХ МОЛДАВИИ.....	50
О. М. Соболев, А. В. Максимов ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ КІЛЬКОСТІ ТА МІСЦЬ РОЗТАШУВАННЯ ТЕПЛОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ НА ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДАХ.....	56
Г. М. Резніченко, А. М. Бутенко РОЗРОБКА ЕКОЛОГІЧНО-БЕЗПЕЧНОЇ Й РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ ЗІ СКЛАДНИМ ВМІСТОМ ПОЛІВАЛЕНТНИХ МЕТАЛІВ.....	61
С. А. Вамболь, В. В. Вамболь ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ДИСПЕРГИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ.....	68

TABLE OF CONTENT

S. Azarov, V. Sydorenko, O. Zadunay SAFETY ASSESSMENT OF POTENTIALLY DANGEROUS OBJECTS.....	3
V. Andronov, V. Strelec OPERATIONAL-TECHNICAL METHOD OF TIME REDUCING OF LOCALIZATION BY FIRE AND RESCUE DEPARTMENT OF EMERGENCY SITUATION OF ECOLOGICAL CHARACTER WITH HAZARDOUS CHEMICAL EMISSION.....	8
S. Tsybulia, V. Starchak, K. Ivanenko, N. Bujalska INFLUENCE OF TECHNOGENOUS CONTAMINATION MEDIUM ON ECOLOGICAL SAFETY OF TECHNICAL CONSTRUCTIONS.....	15
V. Bakharev THE ATMOSPHERIC AIR ECOLOGICAL MONITORING CONCEPT FORMATION AT THE MUNICIPAL LEVEL.....	19
L. Poberezhny, A. Yavorsky, V. Tsyh, A. Stanetsky, A. Grytsanchuk IMPROVING THE ENVIRONMENTAL SAFETY OF PIPELINE NETWORKS OF OIL AND GAS COMPLEX OF UKRAINE.....	24
S. Vambol, O. Kondratenko RESULTS OF COMPLEX CRITERIAL FUEL AND ECOLOGICAL ASSESSMENT OF DIESEL ENGINE 2Ch10.5/12 FOR EMERGENCY AND RESCUE POWER PLANTS.....	32
I. Dadashov, A. Kireev, K. Zhernoklov WAYS TO IMPROVE THE ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS OF EXTINGUISHING MEDIUM FORE FIRE FIGHTING OF COMBUSTIBLE LIQUIDS.....	39
I. Bogdanov, V. Vambol, Y. Suchikova THE IMPROVEMENT ENVIRONMENTAL SAFETY OF NANOMATERIALS BY MEANS OF ENVIRONMENTAL ASSESSMENT.....	44
T. Leah, E. Kuharuk INVESTIGATION OF FACTORS AFFECTING THE DEVELOPMENT OF EROSION PROCESSES IN THE SOILS OF MOLDOVA.....	50
O. Sobol, A. Maksimov THE PROBLEM STATEMENT OF DETERMINING THE OPTIMAL NUMBER AND PLACEMENT OF THERMAL POWER PLANTS ON SOLID WASTES.....	56
A. Reznichenko, A. Butenko DEVELOPMENT OF ENVIRONMENTALLY FRIENDLY AND RESOURCE SAVING TECHNOLOGIES RECYCLING COMPOSITION CONTAINING POLYVALENT METAL.....	61
S. Vambol, V. Vambol RESEARCH OF FEATURES OF APPLICATION OF DISPERSIVE DEVICES IN MANAGEMENT SYSTEMS BY ECOLOGICAL SAFETY.....	68

СПИСОК АВТОРІВ

Азаров С. І.	3	Кухарук К. С.	50
Андронов В. А.	8	Лях Т. Г.	50
Бахарев В. С.	19	Максимов А. В.	56
Богданов І. Т.	44	Побережний Л. Я.	24
Бутенко А. М.	61	Резніченко Г. М.	61
Буяльська Н. П.	15	Сидоренко В. Л.	3
Вамболь В. В.	44, 68	Сичікова Я. О.	44
Вамболь С. О.	32, 68	Соболь О. М.	56
Грицанчук А. В.	24	Старчак В. Г.	15
Дадашов І. Ф.	39	Станецький А.	24
Жернокльов К. В.	39	Стрілець В. М.	8
Задунай О. С.	3	Цибуля С. Д.	15
Іваненко К. Н.	15	Цих В. С.	24
Кіреєв О. О.	39	Яворський А. В.	24
Кондратенко О. М.	32		

LIST OF AUTHORS

Azarov S.	3	Kuharuk E.	50
Andronov V.	8	Leah T.	50
Bakharev V.	19	Maksimov A.	56
Bogdanov I.	44	Poberezhny L.	24
Butenko A.	61	Reznichenko A.	61
Bujalska N.	15	Sydorenko V.	3
Vambol V.	44, 68	Suchikova Y.	44
Vambol S.	32, 68	Sobol O.	56
Grytsanchuk A.	24	Starchak V.	15
Dadashov I.	39	Stanetsky A.	24
Zhernoklov K.	39	Strelec V.	8
Zadunay O.	3	Tsybulia S.	15
Ivanenko K.	15	Tsyh V.	24
Kireev A.	39	Yavorsky A.	24
Vambol S.	32		

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТТІ

УДК

І. І. Іванов, вчений ступінь, вчене звання, посада
Назва установи
вулиця, будинок, місто, країна, індекс

НАЗВА СТАТТІ (мовою оригіналу)

Анотація (мовою статті) 8–10 строк, вирівнювання по ширині сторінки, з абзацним відступом 0,5 см.

Ключові слова: 8-10 слів (мовою статті). Словосполучення «Ключові слова» напівжирним шрифтом.

Постановка проблеми. Текст розділу – постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.

Параметри сторінки: справа, зліва – 2 см, зверху знизу – 2,5 см. Форматування основного тексту статті у дві колонки з проміжком 1 см. Абзацний відступ 0,5 см, шрифт Time New Roman, кегль 10, одинарний інтервал. Обсяг статті 6–8 повних сторінок.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Текст розділу – аналіз досліджень і публікацій за останні 5-7 років в тому числі і іноземних (не менше 40%), в яких започатковано розв'язання проблеми, що розглядається автором, виділення невіршених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.

Постановка завдання та його вирішення. Текст розділу – формулювання цілей статті (постановка завдання), виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.

Таблиці подаються в книжній орієнтації, повинні мати тематичну назву, відцентровані. Довжина таблиці не більше однієї сторінки. Для емких таблиць допускається шрифт 8–9 pt. Підпис до таблиці розміщується над таблицею, вирівнювання по ширині з абзацу. Перед назвою та після таблиці залишати порожній рядок. Приклад оформлення табл. 1.

Табл. 1 – Функції щільності окремих розподілів

№	Розподіл	Поведінка функції	Похибка, %
1.	Парето	x^{-N}	25–30

Рисунки (діаграми, фото та ін.) подаються у чорно-білому зображенні після згадування в тексті. Підписи до самого рисунка не включати, розміщувати по

ширині з абзацу. Перед рисунком та після його назви залишати порожній рядок. Приклад оформлення наведено на рис. 1.

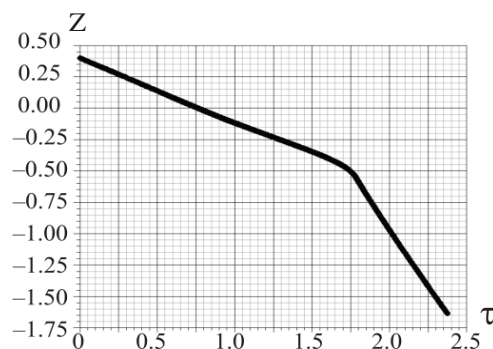


Рис. 1 – Залежність координати Z елементарного обсягу газу від часу τ

Формули мають бути набрані у редакторі формул Microsoft Equation, стиль математичний, розмір формул 10 pt. Не розташовувати у таблицях. Формули завдовжки понад 8 см розбивають на блоки (в окремих випадках по ширині сторінки – 17 см). Нумерація формул – справа в дужках. Перед формулою та після неї залишати порожній рядок

$$A_2\alpha + B_2\beta = C, \quad (1)$$

де A, B – латинські літери наводяться курсивом, α, β – літери грецького алфавіту – прямим шрифтом.

Висновки. Текст розділу – висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Література подається мовою оригіналу у порядку посилань у тексті згідно з ДСТУ 7.1–2006.
2. Самоцитування не більш ніж 20%.

Стаття надійшла до редакції (курсивом вирівнювання по правому краю)

И. И. Иванов
НАЗВАНИЕ СТАТЬИ

Аннотация на русском языке

Ключевые слова: 0

I. I. Ivanov
PAPER TITLE

Abstract in English

Keywords:

PAPER FORMATTING REQUIREMENTS

UCD

I. I. Ivanov, academic degree, academic title, position

The name of the institution

street, building, city, country, postal code

PAPER TITLE (in paper language)

Abstract (in paper language) 8-10 lines, full text justification, paragraph indentation 0.5 cm.

Keywords: 8-10 words (in paper language). The word-combination “Key words” is in bold-faced type.

Problem statement. The section text is the problem setting in general and its connection with the important scientific or practical tasks.

Page setup: right, left – 2 cm below, from top – 2.5 cm.

The formatting of the main text in two columns with a gap of 1 cm. Paragraph indentation 0.5 cm., font: Times New Roman, font size 10, single line spacing. The volume of an article: 6-8 full pages.

Analysis of the recent researches and publications.

The section text is the analysis of researches and publications for the last 5-7 years including the foreign ones (not less than 40%) in which solution of the problem, considered by the author, has been initiated; still unsolved aspects of the problem to which the paper is dedicated are identified.

Statement of the problem and its solution.

The section text is the formulation of the paper objectives (task setting), presentation of the basic research material with full justification of the scientific results.

Tables are presented in the portrait orientation; they should have a thematic name, to be centred. The table length should not exceed one page. For large tables the font 8-9 pt is allowed. The table caption is given above the table, full text justification, paragraph indentation. Before the title and after the table a blank line is left. The example of the table 1.

Table 1 – Density functions of individual distributions

№	Distribution	Behaviour of function	Error,%
1.	Pareto	x^{-N}	25–30

Figures (diagrams, photos, etc.) are submitted in black-and-white image after the reference in the text. The

captions to the picture are not included, full text justification, paragraph indentation. Before the figure and after its title a blank line is left. The example of the Fig. 1.



Fig. 1 – Dependence of the coordinate Z of the elementary volume of gas on time τ

Equations should be typed in equation editor Microsoft Equation, mathematical style, formula size 10 pt. Do not place them in the tables. The equations longer than 8 cm are divided into blocks (in some cases to fit the page width – 17 cm). The equation numbers are given in parentheses. Before and after the equation a blank line is left

$$A_2\alpha + B_2\beta = C, \tag{1}$$

where *A, B* – Latin letters are given in italics, α, β – the letters of the Greek alphabet – normal font.

Conclusions. The text section is the findings of the study and perspectives for further research in this direction.

REFERENCES

1. Publications in the list of references are given in the original language in the order of citation in the text in accordance with DSTU 7.1–2006.
2. Self-citation of no more than 20%.

Manuscript received (italics right-alignment)

I. I. Ivanov

PAPER TITLE

Abstract in Russian

Keywords:

I. I. Ivanov

PAPER TITLE

Abstract in English

Keywords: