

Я. А. Крупка, судовий експерт,
М. О. Крالیук, завідувачка відділу
Одеський НДІ судових експертиз
В. К. Костенко, д.т.н., проф., завідувач кафедри,
О. Л. Зав'ялова, к.т.н., доц., доцент кафедри
Донецький національний технічний університет
Т. В. Костенко, д.т.н., доц., проф. кафедри
Черкаський інститут пожежної безпеки
Національного університету цивільного захисту України,

ВИЗНАЧЕННЯ СИЛ ТА ЗАСОБІВ ВЕДЕННЯ ГІРНИЧОРЯТУВАЛЬНИХ РОБІТ

Ya. Krupka, forensic expert,
M. Kraliuk, head of the department
Odessa Research Institute of Forensic Science
V. Kostenko, Doctor of Technical Sciences, Prof., Head of the Department,
O. Zavyalova, Ph.D., Associate Prof., Associate Professor
Donetsk National Technical University
T. Kostenko, Doctor of Technical Sciences, Assoc. Prof.,
Professor of the Department Cherkasy Institute of Fire Safety
National University of Civil Defense of Ukraine,

DETERMINATION OF FORCES AND MEANS OF RESCUE MINING RESCUE

Мета. Метою даної статті є дослідження умов досягнення високого результату оперативних дій підрозділів гірничорятувальної служби та якісне управління ними, що дозволить вчасно і правильно вибрати методи, сили і засоби ліквідації пожеж у вугільних шахтах і здійснити оперативний маневр у залежності від виду пожежі (екзогенна, ендогенна), місць виникнення осередків горіння, її масштабів, газорясності шахти і ділянки, кількості захоплених аварією людей і місць їхнього перебування тощо.

Методологія. Під час проведення досліджень, для розв'язання поставлених задач, в комплексі застосовувалися загальнонаукові та спеціальні методи, зокрема: методи індукції (на етапі збору, систематизації і обробки інформації для проведення досліджень) та дедукції (у процесі теоретичного осмислення проблеми), системно-аналітичний, порівняльний аналізи, метод аналізу визначень; економічний аналіз, можливості економічної кібернетики і теорії оптимального управління при розробці тактики ведення гірничорятувальних робіт тощо.

Висновки. Економіко-математична модель раціонального ведення гірничорятувальних робіт при ліквідації пожеж відрізняється тим, що вперше керівництво ними розглядається як економічна категорія, а процес ліквідації НС та їх наслідків представлений як екстремальна (оптимізаційна) задача, яка вирішується з використанням обчислювальних експериментів і інженерно-логічного аналізу. Розроблено алгоритм вирішення екстремальної задачі щодо

оптимізації сил і засобів гірничорятувальних підрозділів, основою якого є те, що аргументи інтегральних цільових функцій не є параметри управління, а пов'язані з останніми детермінованою математичною моделлю. Методики розрахунків в гірничорятувальній справі, включаючи і використовувані для забезпечення оптимальної організації гірничорятувальних робіт, потребують вдосконалення в напрямі підвищення точності і спрощення їх алгоритмізації з метою зниження частки ручних розрахунків в математичних моделях.

Оригінальність. Вперше, на базі загально методичних положень теорії оптимального управління розроблені інтегральні критерії якості і на їх основі економіко–математична модель раціонального ведення гірничорятувальних робіт з ліквідації складних підземних пожеж.

Практичні наслідки. Економіко–математична модель раціонального ведення гірничорятувальних робіт дозволить вчасно і правильно вибрати методи, сили і засоби ліквідації пожеж у вугільних шахтах, мінімізувати економічні збитки підприємств, підвищити ефективність і безпеку ліквідації надзвичайних ситуацій.

Ключові слова: аварія, вугільна шахта, гірничорятувальні роботи, інтегральні критерії якості, пожежа, економіко–математична модель.

ВСТУП

Актуальність теми. Підземні пожежі на вугільних шахтах наносять економічні та соціальні втрати підприємствам внаслідок загибелі та травмування працівників і гірничих рятувальників; економічні збитки, які пов'язані з втратою техніки, гірничих виробок і запасів вугілля, що підготовлені до виїмки, в виїмкових полях, що інтенсивно відпрацьовуються, великих аварійних збитків, які пов'язані із витратами на ліквідацію аварій та простоями лав або несвоєчасною підготовкою фронту очисних робіт.

Економічні збитки від втрат техніки, гірничих виробок і запасів вугілля, що підготовлені до виїмки, витрат на аварійні роботи, іноді сягають десятків млн грн. Підземні пожежі екзогенного походження, за даними авторів [1–3], наносять економічні збитки вугільним підприємствам у розмірі 20...40 млн грн на рік. Ендогенні пожежі остаються на другому місці, після екзогенних пожеж, щодо величини нанесених аваріями збитків вугільній промисловості України, і складають від 12 до 40 % від загальних. На основі архівних даних Науково–дослідного інституту гірничорятувальної справи і пожежної безпеки «Респіратор», Центрального штабу Державної воєнізованої гірничорятувальної служби у вугільній промисловості, «Карт обліку аварій», аналізу літератури [1–3] нами встановлені статистичні дані щодо виникнення пожеж на шахтах України за 1980–2018 рр. (табл. 1).

Таблиця 1 – Динаміка виникнення пожеж на шахтах України в 1980–2018 рр.

Роки/ пожежі	1980–84	1985–89	1990–94	1995–99	2000–04	2005–09	2010–14	2015–18
Пожежі екзогенні	163	214	331	274	127	84	43	15
Пожежі ендогенні	181	167	131	70	40	20	10	8

Зменшення кількості аварій, в т. ч. пожеж, пов'язано, в першу чергу, з падінням вуглевидобутку зі 190,0 млн. тон в 1980 р. до 33,29 млн. тон в 2018 р.

Враховуючи викладене, авторами статті пропонується розвиток методології економічної обґрунтованості прийняття управлінських рішень щодо визначення сил та засобів гірничорятувальних частин при гасінні пожеж у вугільних шахтах з метою підвищення їх ефективності і безпеки ведення гірничорятувальних робіт.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Настільки гостро, як сьогодні, перед вченими–гірничорятувальниками економічні проблеми раніш не стояли, тому спектр розв'язуваних питань і обсяг економічних досліджень у гірничорятувальній справі був відповідно досить вузький і незначний. І таке положення спостерігається в умовах, коли в суміжних галузях наукових знань питанням економічного аналізу приділяється велика увага, а методологія економічних досліджень безперервно удосконалюється, збагачується новими науково обґрунтованими аспектами і теорія аналізу господарської діяльності переходить в галузь фундаментальних наук [4]. Тому, треба хоча б фрагментарно визначити основні останні досягнення у вирішенні економічних проблем, близьких до розглянутих в даній роботі, які широко використовуються при розробці пропонованих методологічних засад. У наукових дослідженнях [5] розглядалися питання забезпечення матеріальними резервами підрозділів сил цивільного захисту з метою їх ефективного функціонування при виконанні завдань з ліквідації надзвичайних ситуацій (далі – НС) та їх наслідків на достатньому (заданому) рівні готовності. Автори [6] в своїх дослідженнях розглянули питання розробки комплексної моделі, яка дозволяє визначити усі необхідні види та обсяги матеріальних резервів для ліквідації НС в рамках цивільного захисту населення та територій. В роботі [7] автори приводять свої дослідження щодо підвищення ефективності ліквідації складних підземних аварій, але не розглядають їх як економічну категорію. На жаль, за останні роки, з 90–х рр. XX століття, наукових розробок економічних методів оптимізації сил і засобів гірничорятувальних робіт з ліквідації НС на вугільних шахт не велося.

Постановка завдання – розглянути, що визначення раціональної (оптимальної) кількості сил і засобів гірничорятувальних частин для ліквідації пожеж у вугільних шахтах засновано на методології економічного аналізу, у першу чергу його найважливішої галузі, теорії прийняття оптимальних управлінських рішень.

Метою даної статті є дослідження умов досягнення високого результату оперативних дій підрозділів гірничорятувальної служби та якісне управління ними, що дозволить вчасно і правильно вибрати методи, сили і засоби ліквідації пожеж у вугільних шахтах і здійснити оперативний маневр у залежності від виду пожежі (екзогенна, ендегенна), місць виникнення осередків горіння, її масштабів, газорясності шахти і дільниці, кількості захоплених аварією людей і місць їхнього перебування тощо.

Для вирішення поставленої мети необхідно вирішити ряд наукових задач: розглянути загальний економічний підхід до організації гірничорятувальних робіт; розробити методологію рішення задачі оптимізації кількості сил і засобів гірничорятувальних частин при ліквідації пожеж; провести вибір економічного підходу до оптимізації необхідних сил і засобів для ліквідації підземних пожеж та її наслідків.

Методи дослідження. Під час проведення досліджень, для розв'язання поставлених задач, в комплексі застосовувалися загальнонаукові та спеціальні методи, зокрема: методи індукції (на етапі збору, систематизації і обробки інформації для проведення досліджень) та дедукції (у процесі теоретичного осмислення проблеми), системно–аналітичний, порівняльний аналізи, метод аналізу визначень; економічний аналіз, можливості економічної кібернетики і теорії оптимального управління при розробці тактики ведення гірничорятувальних робіт тощо.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Успіх гірничорятувальних робіт при ліквідації пожеж у вугільних шахтах на всіх ступенях управлінської ієрархії безпосередньо залежить від рівня керівництва і вчасно прийнятих управлінських рішень. Прийняти правильне управлінське рішення, перевірити раціональність і ефективність організації гірничорятувальних заходів можна тільки на основі результатів попереднього економічного аналізу. Для цього організація робіт розглядається як одна з функцій управління і на перший план висувається рівень її ефективності з погляду економічної доцільності виконуваних підрозділами гірничорятувальних частин оперативних дій.

Визначення раціональної (оптимальної) кількості сил і засобів гірничорятувальних частин для ліквідації підземних пожеж засновано на методології економічного аналізу, у першу чергу його найважливішої галузі, присвяченої теорії прийняття оптимальних управлінських рішень [8].

Економічна обґрунтованість прийнятих управлінських рішень визначається насамперед необхідністю виводу застигнутих пожежею підземних працівників з небезпечного для їхнього життя осередку аварії з ефективною і безпечною ліквідацією її наслідків. Відповідальний керівник ліквідації пожежі зобов'язаний йти на будь-які матеріальні витрати, коли перед ним стоїть невідкладне завдання рятування людей. Після надання допомоги застигнутим людям на перше місце висуваються інші задачі, пов'язані з ліквідацією НС та її наслідків. При дослідженні процесу гасіння розвиненої підземної пожежі необхідно використовувати тільки економічні критерії оптимальності, які разом з тим повинні містити найважливіші показники, що характеризують результативність проведених заходів щодо ліквідації НС. У якості останніх можуть використовуватись тривалість гасіння пожежі, трудомісткість гірничорятувальних робіт, витрати на засоби пожежогасіння або будь-які інші параметри, які досить повно визначають ефективність їх ведення. Таким чином, дослідження проводилися при домінуванні таких основних принципів управління, як режим економії і принцип оптимальності.

Теорія прийняття управлінських рішень виходить з багатоваріантності, невизначеності, впливу додаткових факторів на кожний окремо узятий варіант, установлення параметрів оптимальності, використання методу ітерацій. Багатоваріантність в умовах невизначеності і впливу додаткових факторів робить необхідним аналіз різних варіантів управлінських рішень. Вибір найкращого варіанта здійснюється, як правило, за допомогою економіко-математичного моделювання і системного аналізу. Прийняття рішень вимагає розробки можливих варіантів напрямів дій і їхнього обґрунтування шляхом проведення економічного аналізу різних управлінських варіантів.

Багатогранна і складна проблема забезпечення економічної ефективності організації гірничорятувальних робіт може бути вирішена з використанням індуктивного методу. Основною задачею економіки, як відомо [9], є раціональна діяльність, тобто розподіл обмежених ресурсів для досягнення поставлених цілей. Обмеженість ресурсів вимагає вибирати той або інший варіант їхнього використання. При доцільному виборі можна досягти визначених цілей, не перевищуючи меж, обумовлених обмеженістю ресурсів. До задач, пов'язаних з раціональною діяльністю, відноситься і розрахунок сил і засобів підрозділів гірничорятувальних частин при ліквідації пожеж. Тут відповідні ресурси – кількість задіяних гірничорятувальників, пожежної техніки, речовин для пожежогасіння, різних допоміжних матеріалів, бюджету, яке підприємство здатне витратити на ліквідацію НС. Завдання раціональної діяльності може розглядатися з погляду застосування до економіки методу математичної оптимізації, основою якої є

економіко–математична модель. Статична задача раціональної діяльності пов'язана з розподілом обмежених ресурсів на різні цілі у визначений момент часу. У математичній формі завдання полягає в знаходженні значень перемінних, максимізуючих (або мінімізуючих) задану функцію і задовольняючих систему обмежень.

Вирішальною умовою досягнення високого результату оперативних дій підрозділів гірничорятувальної служби є якісне управління ними. Подальше удосконалення систем управління підрозділами дозволить вчасно і правильно вибрати способи, сили і засоби ліквідації НС та їх наслідків і здійснити оперативний маневр у залежності від її масштабів, аварійної обстановки, кількості застигнутих людей і місць їхнього перебування тощо.

Підрозділи гірничорятувальних частин у ході ліквідації аварій та їх наслідків на вугільних шахтах мають потенційні можливості, які можуть бути реалізовані цілком або частково в залежності від якості організації і ведення гірничорятувальних робіт. Найважливішу роль у цьому грає здатність системи управління найбільш раціонально (оптимально) використовувати ці можливості, тобто вона повинна бути досить ефективною. Під ефективністю організації і ведення гірничорятувальних робіт розуміється вплив системи управління на досягнення кінцевих цілей у ліквідації аварій і на ступінь використання потенційних можливостей сил і засобів гірничорятувальної служби в оперативній обстановці, що забезпечує зменшення економічних збитків вугільних шахт, які пов'язані із втратою техніки, гірничих виробок і запасів вугілля, що підготовлені до виїмки, в виїмкових полях, що інтенсивно відпрацьовуються, великих аварійних збитків, які пов'язані з простоями лав або несвоєчасною підготовкою фронту очисних робіт.

Оцінка ефективності керівництва гірничорятувальними підрозділами на практиці проводиться в основному суб'єктивно. Об'єктивну і всебічну науково обґрунтовану кількісну оцінку ефективності прийнятих рішень, у тому числі і з погляду їх економічної доцільності, і результатів оперативних дій, здійснюваних при цілеспрямованому управлінні гірничорятувальними роботами, найкраще здійснювати на базі оптимізаційних економіко–математичних моделей, суть яких полягає в наступному [8...10]. Нехай досліджуваний процес ліквідації НС описується математичною моделлю M , тобто маєть сукупність співвідношень, які пов'язують деякі параметри, що визначають хід гірничорятувальних робіт. З безлічі всіх цих параметрів X виділяється підмножина перемінних управління U (надалі – управління або варіюємі параметри). Значення цих перемінних в управління особи, яка керує процесом. Якщо можливо кількісно оцінити результат кожної дії, або управління, то це значить, що відома функція F (функція мети, цільова функція, критерій якості, критерій оптимальності), яка зіставляє кожному можливому в даній моделі управлінню $u \in U$ число $F(u)$.

Цілеспрямована діяльність, як правило, припускає найкраще використання, причому найчастіше знаходять таке припустиме управління $u \in U$, на якому досягається або максимальне значення $F(u) - \max F(u) = F(u)$, або мінімальне – $\min F(u) = F(u)$.

Цілі управління такого типу звуться екстремальними, або оптимізаційними, задачами. У залежності від виду моделі M и критерію якості $F(u)$ використовуються різні методи для рішення відповідних оптимізаційних задач.

Процеси ліквідації НС та їх наслідків і управління гірничорятувальними роботами досить складні, тому, спираючись на системний підхід, доцільно вирішувати локальні проблеми і відповідні їм екстремальні задачі.

Велике значення для організації раціонального керування гірничорятувальними роботами і прийняття науково обґрунтованих рішень по оперативним діям мають

тактичні розрахунки, які застосовуються при ліквідації НС та їх наслідків. Серед них особливо варто виділити розрахунок сил і засобів підрозділів гірничорятувальної служби. Саме зазначену проблему необхідно в першу чергу розглянути як складовий елемент економічної системи, тому що економічною доцільністю управлінських рішень, прийнятих з урахуванням результатів цих тактичних розрахунків, будуть головним чином визначатися матеріальні витрати на ліквідацію складної НС, які несуть вугільне підприємство, гірничорятувальні частини.

Далі представлені основні методологічні підходи до рішення проблеми підвищення економічної ефективності розрахунків сил і засобів гірничорятувальних підрозділів для гасіння розвиненої підземної пожежі, які є універсальними і можуть використовуватися при розгляді інших аналогічних задач, пов'язаних з оцінкою ефективності систем управління і порівнянням прийнятих рішень.

Насамперед виділяються фактори, які впливають на результати тактичних розрахунків. У нашому випадку до них відносяться: дані, що враховують оперативно-тактичні особливості об'єкта, вид пожежі, параметри, які характеризують її розвиток і гасіння, характер пожежного навантаження, конкретні умови обстановки й інші фактори [8–10]. Їх використовують як початкові дані для розрахунків. Однак для практичних цілей цілком достатньо обмежитися вивченням домінуючих з них, вплив яких найбільш відчутний на результати розрахунків, а отже, і на прийняті управлінські рішення (безліч X). Причому чим ширше досліджувана проблема, чим більшу частину економічної системи вона охоплює, тим більше число істотних факторів, які повинні бути враховані (серед них визначаються варіюємі, або оптимізуємі, параметри $U \subset X$).

Потім досліджується й описується у формалізованому виді, яким чином позначається вплив цих факторів, для чого й створюється оптимізаційна математична модель M , яка встановлює аналітичні залежності і порядок розрахунків, а також виражає кількісні співвідношення між перемінними управління $u \in U$ і функцією мети $F(u)$. У якості останньої можуть виступати сумарні витрати на придбання пожежної техніки й речовин для пожежогасіння, доставку їх до аварійної дільниці, оплату оперативної діяльності гірничорятувальників і деякі інші матеріальні витрати, пов'язані з гірничорятувальними роботами. Крім того, варто мати на увазі можливий матеріальний збиток від НС, який у першому наближенні можна прийняти пропорційним тривалості гасіння пожежі відповідним технічним засобом, тому в ідеалі оптимальний варіант повинен мати мінімальним і цей параметр. Тобто при виборі цільової функції доцільно застосувати комплексний підхід: з одного боку, враховуються матеріальні витрати на сили і засоби пожежогасіння, з іншого – прогнозується економічний збиток вугільної шахти від пожежі. Отже, вирішується екстремальна задача: необхідно мінімізувати інтегральний критерій якості $F(u)$, де як оптимізуємі параметри $u \in U$ звичайно використовуються тільки один–два фактори, значеннями якими найбільш просто управляти. Зокрема, у нашому випадку перемінною управління зручно прийняти продуктивність або іншу технічну характеристику засобів пожежогасіння, які планується задіяти в ліквідації підземної пожежі й ефективність яких перевіряється і порівнюється.

Пропонований варіант інтерпретації критерію оптимальності заснований на допущенні. Умовно вважається, що засоби пожежогасіння в міру необхідності і відповідно до тактичних розрахунків придбаються в процесі ліквідації аварії. У дійсності вони закуповуються завчасно і мають у системі протипожежного захисту шахти або на оснащенні гірничорятувальних підрозділів (засоби водяного, пінного, порошкового і газового пожежогасіння, а також засоби для зведення ізоляційних споруджень).

При рішенні більш складних оптимізаційних задач може виникати необхідність розробляти багатокритеріальні моделі, у яких, однак, одиничні критерії якості завжди прагнуть звести до однієї цільової функції [11].

Моделі дослідження й обчислювальний експеримент на комп'ютерній техніці у загальному випадку рекомендується проводити по наступній логічній схемі: послідовно по функціях мети F_i вирішуються приватні екстремальні задачі за умови застосування тільки водяних (F_1), порошкових (F_2), пінних (F_3) або газових (F_4) засобів пожежогасіння, після чого шляхом порівняння F_i по $F_{i \min}$ остаточно вибираються тип пожежогасящої речовини і відповідні оптимальні кількість підрозділів гірничорятувальників і пожежної техніки, які необхідно задіяти для ліквідації підземної пожежі з найменшими матеріальними втратами й у найкоротший термін. Автори [8, 9] стверджують, що як показує досвід ведення гірничорятувальних робіт на вугільних шахтах, порошкове пожежне устаткування для пожежогасіння розвинених підземних пожеж практично не застосовується, тому її з математичної моделі можна виключити. Але ми вважаємо, що це не так, і використання пожежогасящого порошку необхідне не тільки для впливу на осередки горіння, а й як флегматизатора вугільного пилу, для запобігання його участі у можливих вибухах газопилових сумішей.

Для прикладу, розглянемо розрахунок функції мети F при гасінні пожежі повітряно-механічною піною:

$$F = 3 \tau_t N_{гз} + Ц_{пу} N_3 + Ц_{п} M_{по} + 3 (P_{пу} V_{пу} + M_{по} V_{по} N_{мпо}) + \quad (1) \\ + Ц_{мпу} N_3 + Ц_{пуп} N_{пуп} + У \tau_t,$$

де, $N_{гз} = 5 N_{опу} N_3$ – кількість гірничорятувальників, задіяних у ліквідації розвиненої пожежі, чол.; $N_{опу}$ – кількість відділень ДВГРС, що обслуговують один піногенератор, від.; N_3 – кількість піногенераторів, використовуваних для гасіння розвиненої підземної пожежі; $Ц_{пу}$ – ціна піногенераторної установки, грн; $Ц_{п}$ – ціна одиниці маси піноутворювача, грн/кг; $M_{по}$ – маса піноутворювача, яку необхідно витратити для повної ліквідації пожежі (на гасіння й охолодження осередків пожежі), кг; C – вартість доставки до пожежної ділянки одиниці маси вантажу, грн/кг; $P_{пу}$ – маса (вага) піногенератора, кг; $V_{пу}$ – умовний обсяг піногенераторної установки, m^3 ; $V_{по}$ – обсяг контейнера для доставки на аварійну дільницю піноутворювача, m^3 ; $N_{мпо}$ – необхідна кількість контейнерів для доставки на аварійну дільницю необхідної маси піноутворювача, шт.; $Ц_{мпу}$ – витрати на монтаж і підготовку пінного устаткування до експлуатації, грн; $Ц_{пуп}$ – вартість зведення піноупорної перемички, грн; $N_{пуп}$ – необхідна кількість піноупорних перемичок, шт.; $У$ – збитки шахти матеріального характеру, пов'язані з витратами при аварії і віднесені до одиниці часу, грн/год; τ_t – тривалість гасіння пожежі на досліджуваній стадії його розвитку, год.

За подібною схемою визначаються витрати на активну ліквідацію пожежі водою, повітряно-механічною піною, пожежогасящим порошком, ізоляцію пожежної дільниці.

Таким чином, пропоновані методичні рекомендації з підвищення економічної ефективності управління силами і засобами гірничорятувальних підрозділів (зокрема, тактичних розрахунків), засновані на математичному моделюванні, дозволять в остаточному підсумку визначати оптимальні способи управління при заданих цілях і критеріях й приймати науково обґрунтовані й недорогі рішення щодо оперативних дій гірничорятувальних підрозділів, а також розробляти економічно більш раціональні системи протипожежного захисту шахт. Методологія рішення екстремальної задачі зводиться до створення математичної моделі досліджуваної проблеми, вибору критеріїв якості і їх математичного опису, аналізу і вибору перемінних управління та їх обмежень, вибору й обґрунтування методу пошуку оптимальних значень варіюємих параметрів.

ВИСНОВКИ та перспективи подальших досліджень

Економіко–математична модель раціонального ведення гірничорятувальних робіт при ліквідації пожеж відрізняється тим, що вперше керівництво ними розглядається як економічна категорія, а процес ліквідації НС та їх наслідків представлений як екстремальна (оптимізаційна) задача, яка вирішується з використанням обчислювальних експериментів і інженерно–логічного аналізу. Розроблено алгоритм вирішення екстремальної задачі щодо оптимізації сил і засобів гірничорятувальних підрозділів, основою якого є те, що аргументи інтегральних цільових функцій не є параметри управління, а пов'язані з останніми детермінованою математичною моделлю. Методики розрахунків в гірничорятувальній справі, включаючи і використовувані для забезпечення оптимальної організації гірничорятувальних робіт, потребують вдосконалення в напрямі підвищення точності і спрощення їх алгоритмізації з метою зниження частки ручних розрахунків в математичних моделях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Є. І. Конопелько, «Діяльність гірничорятувальної служби в сучасній Україні», *Вісник Донецького гірничого інституту*, № 1 (44), с. 79–86, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.31474/1999-981x-2019-1-79-86>.
- [2] А. Ф. Долженков, и Т. А. Негрей, «Анализ основных направлений создания безопасных условий труда подземных рабочих угольных шахт», *Вісник Донецького гірничого інституту: Всеукраїнський науково–технічний журнал*, Вип. № 1(36)–2(37), с. 123–129, 2015.
- [3] Т. В. Костенко, «Визначення екстремальних небезпек під час гасіння пожеж», на IX Міжнародній науково–практичній конференції *Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій*, м. Черкаси, 18–19 травня 2018, с.45–47.
- [4] Б. Г. Ильясов, «Моделирование системных показателей оценки эффективности научных школ», *Программные продукты и системы: международный научно–практический журнал*, № 2, с. 5–12, 2015. DOI: <https://doi.org/10.15827/0236-235X.110.005-012>.
- [5] В. Н. Єлісєєв, та Л. В. Попов, «Показники залежності ефективності функціонування підрозділів оперативно–рятувальної служби. цивільного захисту від забезпеченості матеріальними резервами», *Навковий збірник ДПУУЗ*. No 1. с. 27–32. 2013.
- [6] В. Єлісєєв, А. Пруський, В. Тищенко, та Є. Власенко, «Методика розрахунку матеріальних резервів як інструмент механізму державного управління силами цивільного захисту», *Науковий вісник: Державне управління*, No 4(6), с. 122–142, 2020. DOI: [https://doi.org/10.32689/2618-0065-2020-4\(6\)-122-142](https://doi.org/10.32689/2618-0065-2020-4(6)-122-142).
- [7] С. М. Смоланов, та В. І. Голінко, «Підвищення ефективності ліквідації складних підземних аварій», *Вісник академії інженерних наук України*, № 2 (22), с. 30–34, 2004.
- [8] А. Ю. Гохберг, Ю. А. Кривченко, и О. Б. Чернега, «Экономическая эффективность организации горноспасательных работ», *Совершенствование организационно–технической структуры промышленного комплекса региона: Сб. науч. тр. ИЭП НАН Украины. Донецк*, с. 103–109, 1996.
- [9] А. Ю. Гохберг, и Ю. А. Кривченко, «Методология решения оптимизационной задачи управления горноспасательными работами при ликвидации аварий на горных предприятиях», *Вісник Донецького університету: Серія В – Економіка і право*, № 2, с. 105–109, 1998.
- [10] О. А. Кулиш, А. Ю. Гохберг, и А. А. Крупка, «Повышение экономической эффективности управления силами и средствами горноспасательных частей», *труды IV Международной научно–технической конференции Проблемы охраны труда и техноэкологической безопасности*, Севастополь, 1996, С. 119.
- [11] Н. Н. Брушлинский, и Н. Н. Соболев, «О критериях эффективности и качества функционирования пожарной охраны», *Вопросы экономики в пожарной охране: сб. тр. М.: ВНИИПО*, Вып. 7, с. 3–10, 1978.

Стаття надійшла до редакції 15.03.2021