

*А.Я. Калиновський, к.т.н., доцент, нач. каф., НУЦЗУ,  
В.С. Кропивницький, нач. УкрНДІЦЗ,  
О.М. Ларін, д.т.н., проф., НУЦЗУ,  
Д.В. Донський, ад'юнкт, НУЦЗУ*

## **ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОНАННЯ ЦІЛЬОВИХ ЗАВДАНЬ ПОЖЕЖНО-РЯТУВАЛЬНОГО КАТЕРУ**

Визначено комплекс показників ефективності виконання цільових задач щодо ліквідації надзвичайних ситуацій пов'язаних з пожежами на водних об'єктах та методи їх оцінки для пожежно-рятувального катеру, які враховують відносний час виконання відповідних модельних задач.

**Ключові слова:** пожежно-рятувальний катер, показник ефективності виконання цільових задач.

**Постановка проблеми.** Серед природно-техногенних загроз слід окремо відзначити небезпеки, що виникають в морських, річкових та прибережних регіонах нашої держави. У прибережних зонах живуть сотні тисяч людей, розміщені житлові будови та об'єкти інфраструктури, організовані місця стоянки та зберігання водного транспорту. За період з 2005 по 2014 роки на території України зареєстровано 265 надзвичайних ситуацій, які виникли у береговій зоні та на транспортних засобах водного сполучення. Унаслідок цих ситуацій загинуло 6 людей та ще 6 отримали травми, знищено та пошкоджено 34 будівлі і споруди різного призначення та 18 одиниць транспортних засобів. Матеріальні втрати склали 23 млн. 608 тис. грн.

Ліквідація надзвичайних ситуацій, що обумовлені виникненням техногенних аварій, катастроф, пожеж тощо потребує використання спеціалізованих водних транспортних засобів. У світовій практиці для ліквідації надзвичайних ситуацій застосовуються спеціалізовані маломірні водні транспортні засоби з різними схемами розміщення комплексу спеціального устаткування і спорядження, типу пожежно-рятувального катеру (ПРК) UMS-1000 [1].

Загальним істотним недоліком існуючих водних транспортних засобів є обмеженість тактичних характеристик унаслідок відсутності технічної можливості проведення аварійно-рятувальних робіт на водних об'єктах з малими глибинами і засміченим фарватером, а також відсутності спеціального обладнання для проведення аварійно-рятувальних та водолазних робіт.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Випадковий час виклику на надзвичайних ситуацій вимагає високої готовності рятувальників до виконання завдань з ліквідації надзвичайних ситуацій у будь-який час доби. По прибуттю до місця надзвичайних ситуацій рятувальникам необхідно в мінімально короткий час підготувати обладнання до роботи і почати її ліквідацію.

З особливостей розвитку та ліквідації надзвичайних ситуацій різного характеру та збитку якого завдає надзвичайна ситуація, можна зробити висновок, що виконання таких дій як виїзд пожежно-рятувальних підрозділів по сигналу тривоги, слідування до місця надзвичайної ситуації, розгортання пожежно-рятувального обладнання повинно проводитися в дуже стислі терміни.

У світовій практиці для ліквідації надзвичайних ситуацій на прибережних територіях застосовуються спеціалізовані маломірні пожежні судна з різними варіантами планування палубного простору, а також різними схемами розміщення комплексу спеціального устаткування і спорядження. Незважаючи на наявну теоретичну базу і досягнуті практичні результати, питання підвищення ефективності залишається актуальним [2].

Останнім часом характерно переважне будівництво спеціалізованих суден, однак маломірних пожежних суден у світовій практиці немає [3-7].

**Постановка завдання та його вирішення.** Необхідно провести дослідження закономірностей формування показників ефективності виконання цільових завдань пожежно-рятувального катеру з урахуванням експлуатаційних вимог залежно від типу відповідного завдання.

Організація заходів щодо управління ресурсом ПРК потребує введення показників ефективності його використання. Слід наголосити, що практичне застосування даних транспортних засобів, як правило, пов'язано із виконанням цілого набору різних завдань, тому для оцінки ефективності їх вирішення введемо комплекс [8]

$$\tilde{\Psi} = \{\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_N\}^T, \quad (1)$$

де  $\Psi_i$  – показник виконання  $j$ -ого цільового завдання,  $N$  – кількість цільових завдань  $\{\dots\}^T$  – операція транспонування вектор-строки.

Для кількісної оцінки компонент цього комплексу пропонується використовувати відносний час, який необхідно затратити на виконання даних завдань. Пропонується нормувати введені показники, шляхом їх ділення на час виконання певного модельного завдання

$$\psi_j = \frac{\sum_{i=1}^{K_j} t_{ij}}{t_0}, \quad j = \overline{1..N}, \quad (2)$$

де  $t_{ij}$  – час виконання  $i$ -ої підзадачі  $j$ -ого цільового завдання,  $K_j$  – кількість підзадач, що необхідно виконати для вирішення  $j$ -ого цільового завдання,  $t_0$  – час виконання модельного (типового) цільового завдання.

ПРК широко застосовуються для виконання різних цільових завдань. До основних таких завдань слід віднести ліквідацію пожеж, які відбуваються на водних транспортних засобах або на об'єктах в прибережній зоні, гасіння загорянь розливів нафтопродуктів, ліквідація наслідків

техногенних аварій (наприклад, локалізації зон розливів хімічних речовин або проведення робіт по їх хімічній нейтралізації тощо), а також забезпечення технічної підтримки проведення підводних пошуково-рятувальних робіт (рис. 1).

Пропонується реалізувати 5 варіантів компонок, які в подальшому позначимо  $Z_j, j = 1..5$  [8].

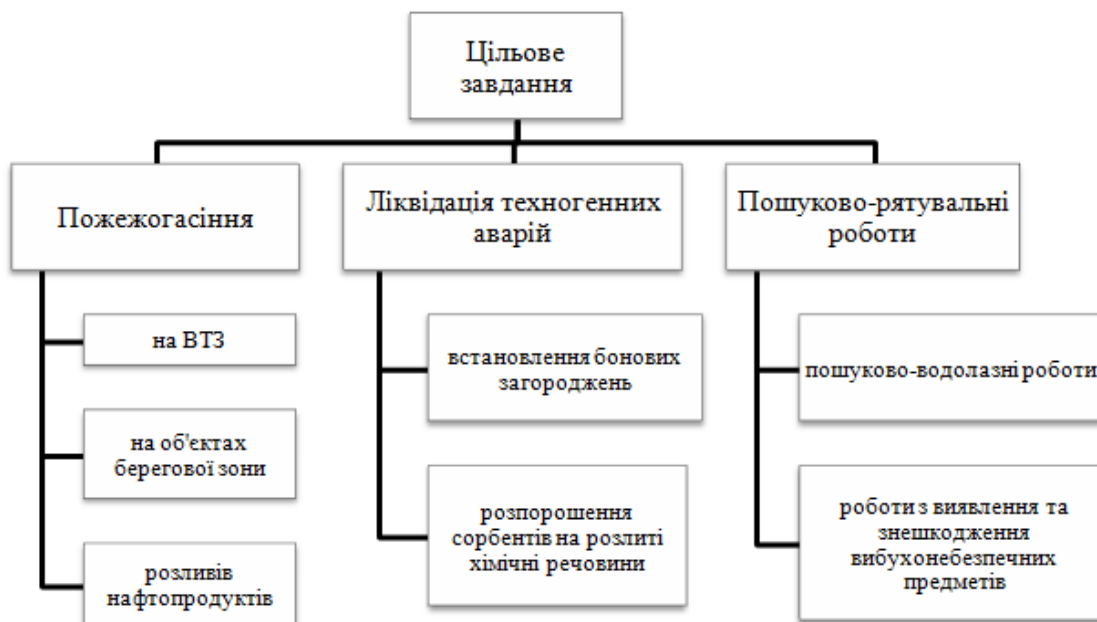


Рис. 1. Основні цільові завдання пожежно-рятувального катеру

Перша компоновка  $Z_1$  для гасіння пожеж на водних об'єктах. Друга компоновка  $Z_2$  для проведення робіт з пожежогасіння об'єктів прибережної зони із входом рятувальників на берег (переносна мотопомпа; пожежно-рятувальне обладнання; обладнання газодимозахисної служби для захисту органів дихання тощо). Компоновка  $Z_3$  для гасіння нафтопродуктів, що горять.  $Z_4$  для виконання підводних пошуково-рятувальних робіт. Остання із запропонованих компонок  $Z_5$ , застосовується для локалізації та ліквідації аварій техногенного характеру, які пов'язані із розливом хімічних речовин по поверхні акваторії.

Виходячи з розглянутого набору типових завдань (рис. 1) функціонал (1) отримає вигляд

$$\tilde{\Psi} = \{\psi_1, \psi_2, \psi_3, \psi_4, \psi_5\}^T. \quad (3)$$

Ефективність виконання перших трьох цільових задач визначається часом гасіння пожеж ПРК, який складається з послідовної реалізації наступних подій: прибуття від місця постійної дислокації до місця надзвичайної події, розгортання технічного обладнання та ліквідації пожежі. Тобто у цьому випадку перша компонента вектору комплексу показників

$$\psi_1 = (t_{11} + t_{21} + t_{31}) / t_0, \quad (4)$$

де  $t_{11}$  – час прибуття,  $t_{21}$  – час розгортання технічного обладнання та  $t_{31}$  – час ліквідації.

Час прибуття ПРК визначається, технічними характеристиками цього судна, а також масою спорядження, що він перевозить, оскільки остання може бути у певних випадках співрозмірною з масою самого транспортного засобу, зокрема, і враховуючи, що на масу цього катеру впливає кількість членів екіпажу

$$t_{11} = t_{11}\left(m|_{Z=Z_j}, p\right) = t_{11}(m_0), \quad (5)$$

Зазначений час в першу чергу залежить від швидкості руху ПРК, що безпосередньо визначається через його потужність ( $P_s$ ), гідродинамічний опір ( $R$ ) та коефіцієнти корисної дії двигуна ( $\eta_{\text{дв}}$ ), а також рушя ( $\eta_{\text{руш}}$ )

$$v = \frac{P_s}{R} \eta_{\text{дв}} \eta_{\text{руш}}. \quad (6)$$

Гідродинамічний опір катеру залежить від геометричних параметрів судна, його маси, швидкості руху тощо. Для оцінки сили опору різних водних транспортних засобів використовують відносний безрозмірний показник – коефіцієнт гідродинамічної якості

$$k = \frac{m_0 g}{R}, \quad (7)$$

де  $m_0$  – маса спорядженого ПРК,  $g$  – прискорення вільного падіння.

Коефіцієнт гідродинамічної якості табульований у довідковій літературі, відносно співвідношення геометричних розмірів водних транспортних суден  $\lambda = B/L$ . Для випадку UMS-1000 ширина судна складає 2,98 м, а довжина 9,94 м, отже даний параметр становить  $\lambda = 0,3$ . Для даного параметру коефіцієнт гідродинамічної якості становить 7,5.

Визначаючи гідродинамічний опір ПРК з виразу (7) отримуємо максимальну можливу швидкість руху даного катеру

$$v = \frac{P_s k}{m_0 g} \eta_{\text{дв}} \eta_{\text{руш}}. \quad (8)$$

Отже мінімальний час на подолання відстані  $L$  становить

$$t_{11} = \frac{L_0}{v} = \frac{L_0 m_0 g}{P_s k \eta_{\text{дв}} \eta_{\text{руш}}}. \quad (9)$$

Маса спорядженого ПРК складається з маси базової комплекта-

ції ( $m_{\text{баз}}$ ), маси спеціалізованого технічного обладнання в  $j$ -ій комплектації ( $m_j$ ) та сумарної маси екіпажу

$$m_0 = m_{\text{баз}} + m_j + m_{\text{пр}}, \quad (10)$$

де  $m_{\text{пр}}$  – середня маса однієї особи ( $m_{\text{пр}} = 80$  кг).

Відповідно до паспортних даних UMS-1000, маса базової комплектації складає 3,5 тони і максимальна вантажопід'ємність до 1,5 тони. Розглянуті співвідношення надають можливість розрахувати час прибуття ПРК на місце виконання свого цільового завдання в залежності від відстані, що даний катер повинен подолати для прибуття на це місце.

Аналіз наведеної залежності показує, що даний катер за різних варіантів свого спорядження за 4 години може подолати відстань від 200 до 240 км. Важливо наголосити, що відповідно до паспортних даних даного водного транспортного засобу час його автономної роботи не може перевищувати 8 годин, тобто час слідування на місце виконання цільового завдання обмежений 4 годинами. Будемо вважати цей час (4 години) нормативним елементарним часом  $t_0$  і приводити показники виконання цільових завдань відносно нього (2). Отже, показник виконання такої цільової задачі як доставка корисного вантажу або прибуття для проведення евакуації людей становить  $\psi_0=1$ .

Повертаючись до визначення показнику виконання перших цільових завдань розглянемо три окремих варіанта:

- ліквідація пожежі на іншому водному транспортному засобі  $\psi_1$ ;
- ліквідація пожежі на об'єкті прибережної зони  $\psi_2$ ;
- ліквідація горіння розливу нафтопродукту по поверхні води  $\psi_1$ .

З метою забезпечення безпеки рятувальників, гасіння пожеж у першому випадку відбувається зазвичай дистанційно: шляхом подачі вогнегасної рідини (у 95 % випадків води) з лафетних стволів, які штатно розташовані на ПРК.

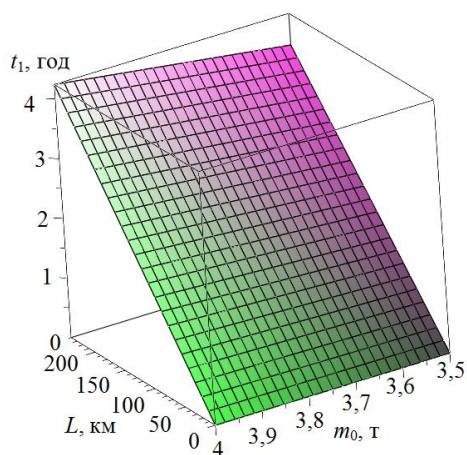


Рис. 2. Залежність часу прибуття до місця події від маси обладнання ПРК та відстані до нього

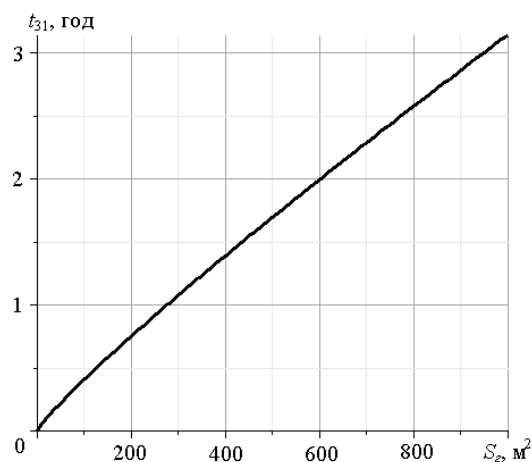


Рис. 3. Залежність часу ліквідації пожежі на водному транспортному засобі в залежності від її площі

Тобто у цьому випадку час підготовки обладнання для початку ліквідації пожежі майже відсутній та їм можна знехтувати. Тобто на ефективність виконання цієї задачі впливає час прибуття на місце ліквідації та час проведення робіт з ліквідації пожежі (час гасіння).

Час, який необхідно витратити для ліквідації пожежі при використанні в якості вогнегасного засобу води з використанням лафетного ствола розраховується за формулою [9].

$$t_{13} = \frac{1418,4 \cdot S_{\Gamma}^{0,893}}{q_{\text{лс}}} k_z, \quad (11)$$

де  $k_z$  – коефіцієнт використання устаткування при виконанні цільового завдання;  $S_{\Gamma}$  – площа гасіння;  $q_{\text{лс}}$  – розхід із лафетного ствола (60 л/с).

Відповідно до цього, час ліквідації пожежі в залежності від площі гасіння складає понад 3 години при ліквідації пожежі із площею до 1000 м<sup>2</sup>.

Показник виконання першої цільової задачі визначається з (3) з урахуванням знайдених виразів (8) та (10) при русі у базовій комплектації (без додаткового устаткування) представлено на рис. 4.

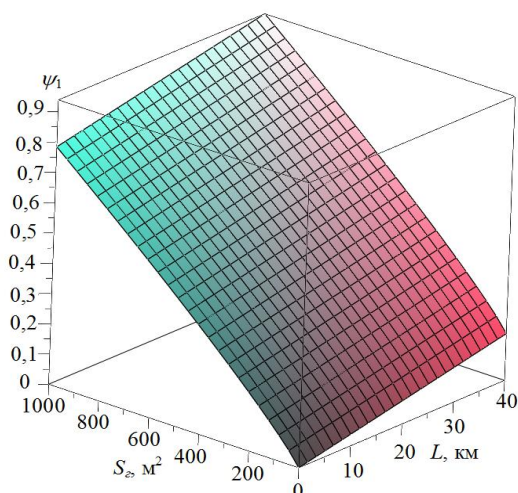


Рис. 4. Показник виконання першої цільової задачі

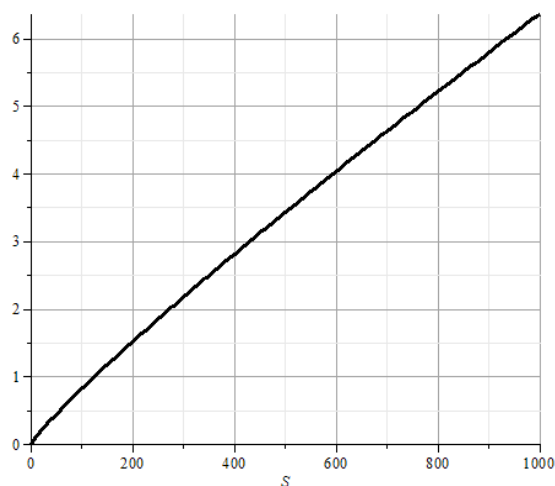


Рис. 5. Залежність часу ліквідації пожежі на об'єкті в прибережній зоні в залежності від її площі займання

Таким чином, максимальна можлива ефективність використання ПРК обмежена його залученням на гасіння пожежі з площею вільного горіння 1000 м<sup>2</sup>, яка відбувається не далі за 30 км від місця його постійної дислокації. Залучення вказаного ПРК на ліквідацію надзвичайних ситуацій, які відбуваються на більшій відстані, пропорційно зменшує ефективність його використання.

Розглянемо рішення задачі гасіння пожеж в прибережній зоні. Принципово ця проблема є аналогічною до попередньої але має відмінність у тому, що об'єкти прибережної зони погано охоплюються лафетними стволами, з іншого боку є можливість висадки частини екіпажу для проведення

гасіння на місці, розгорнувши рукавні лінії від насосу, що встановлений на ПРК. Відповідні зміни торкнуться лише часу, який необхідно витратити для ліквідації пожежі з використанням стволів різного типу. При цьому, відповідний час визначиться з наступного співвідношення

$$t_{13} = \frac{1418,4 \cdot S_{\Gamma}^{0,893}}{\sum_{i=1}^m n_i q_{ст\varphi_i}} k_z, \quad (12)$$

де  $n_i$  – кількість стволів;  $q_{ст\varphi_i}$  – розхід з  $i$ -го ствола;  $m$  – кількість типів стволів.

Відповідно до цього, час ліквідації пожежі в залежності від площі гасіння складає понад 3 години при ліквідації пожежі із площею до 1000 м<sup>2</sup>.

Показник виконання даної (другої) цільової задачі визначається з (3) з урахуванням знайдених виразів (8) та (12) при русі у базовій комплектації (без додаткового устаткування) представлено на рис. 6.

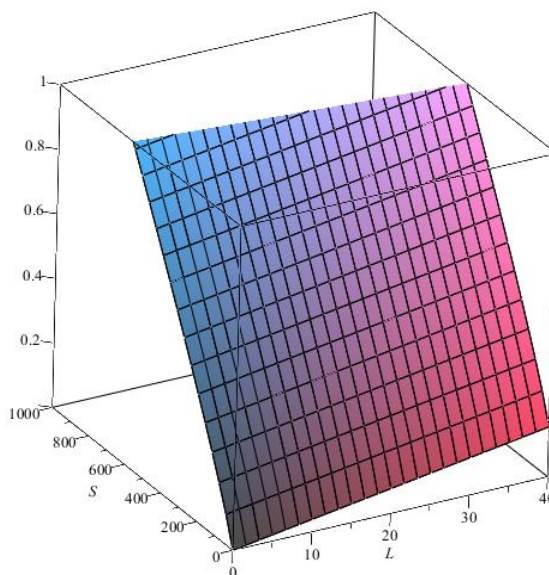


Рис. 6. Показник виконання третьої цільової задачі

Таким чином, максимальна можлива ефективність використання водного транспортного засобу обмежена його залученням на гасіння пожежі з площею вільного горіння 500 м<sup>2</sup>, яка відбувається не далі за 30 км від місця його постійної дислокації. Залучення ПРК на ліквідацію надзвичайних ситуацій, які відбуваються на більшій відстані, пропорційно зменшує ефективність використання ПРК.

Наступним цільовим завданням, для рішення якого використовується ПРК є ліквідація горіння розливу нафтопродукту по поверхні води.

Найбільш ефективним засобом гасіння нафтопродуктів є подання в осередок пожежі повітряно-механічної піни.

Час прибуття до місця ліквідації надзвичайної ситуації, що виникла



розраховується за допомогою виразу (9) з урахуванням додаткової приєднаної маси піноутворювача, максимальна кількість якого складає 1000 кг.

Визначимо час  $t_{12}$ , який необхідно витратити при гасінні пожежі нафтопродуктів повітряно-механічною піною низької кратності, яка подається за допомогою стаціонарного лафетного ствола з продуктивністю  $Q_{лс} = 60$  л/с, змонтованого на водному транспортному засобі.

У якості модельної ситуації розглянемо аварію судна в результаті якої відбулося витікання в прилеглу акваторію палива в кількості 1000 кг з наступним його займанням.

Розрахуємо об'єм піноутворювача, що необхідний для виготовлення заданого об'єму піни. На рис. 7 представлено залежність необхідного об'єму піноутворювача рідини від об'єму нафтопродукту що палає. Слід наголосити, що максимальний обсяг піноутворювача який може бути розміщений на борту обмежений 1000 кг.

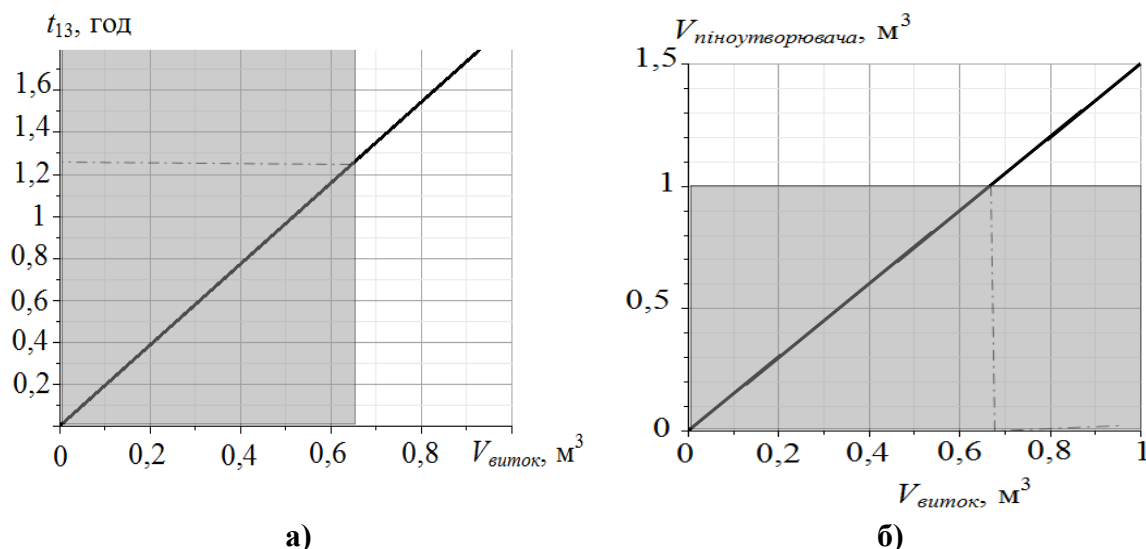


Рис. 7. Залежності зміни об'єму піноутворювача (б) та часу (а) піної атаки в залежності від об'єму розлитого нафтопродукту, що горить

Відповідна зона помічена на рисунку сірим кольором та показує який максимальний об'єм розлитого нафтопродукту, що палає можна тушити з даного водного транспортного засобу.

Час, який необхідно витратити для гасіння модельної пожежі визначатиметься через об'ємну витрату, яку здатна забезпечити насосна установка за безперервної подачі піни необхідної кратності

$$t_{12} = \frac{V_{пінн}}{Q_{пінн}} = \frac{V_{пального}}{Q_{пінн}} \cdot \frac{h_{пінн}}{h_{плівки}}. \quad (13)$$

Використання наведених результатів дозволяє побудувати залежність показника ефективності використання водного транспортного засобу для виконання ним такого цільового завдання як гасіння займання ро-



злитого нафтопродукту. Відповідно на рис. 8 представлена залежність показника ефективності від об'єму нафтопродукту, що розлитий по поверхні води та горить і відстані на якій відбувається пожежа відносно місця постійної дислокації ПРК.

Аналіз наведених результатів показує, що ліквідація пожеж, пов'язаних із займанням нафтопродуктів є більш складною задачею та має свої технічні границі внаслідок обмеженої кількості піноутворювача, який перевозиться в даній комплектації. Відповідно до результатів дальність виїзду водного транспортного засобу на місце ліквідації загоряння обмежена 150 км і розливом нафтопродукту, що горить в об'ємі  $0,7 \text{ м}^3$ .

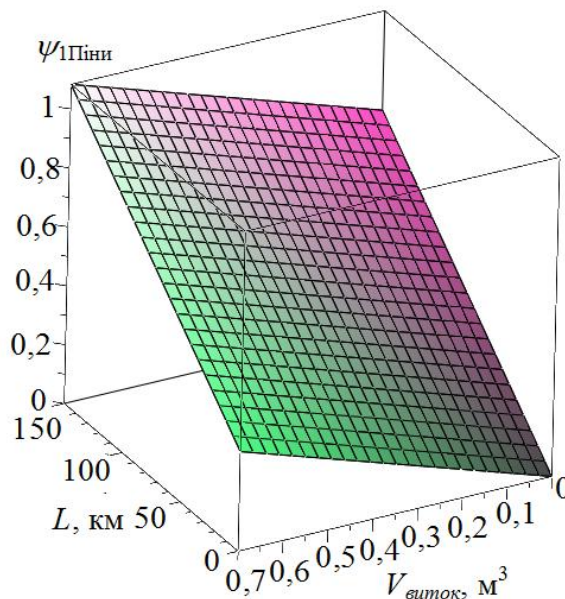


Рис. 8. Показник ефективності виконання цільової задачі з гасіння нафтопродуктів, які розлиті на поверхні водойми в залежності від відстані проведення робіт, а також об'єму витоку нафтопродуктів

**Висновки.** Визначено комплекс показників ефективності виконання цільових завдань та методи їх оцінки для пожежно-рятувального катеру, які враховують відносний час виконання відповідних модельних задач.

Можлива ефективність використання пожежно-рятувального катеру UMS-1000 обмежена його залученням до гасіння пожежі з площею вільного горіння  $1000 \text{ м}^2$ , яка відбувається на відстані не далі 30 км від місця його постійної дислокації. Залучення вказаного пожежно-рятувального катеру до ліквідації надзвичайних ситуацій, які відбуваються на більшій відстані, пропорційно зменшує ефективність його використання.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Кропивницький В.С. Аналіз вимог, що пред'являються до пожежних суден / Кропивницький В.С. // Збірник наукових праць. Серія: Нові визначення показників ефективності виконання цільових завдань пожежно-рятувального катеру

рішення в сучасних технологіях. – Х.: НТУ«ХПІ» – 2015р. – №39(1148). – С. 34-40.

2. Гурович А.Н. Проектирование спасательных и пожарных судов / А.Н. Гурович, А.А. Родионов. – Л.: Судостроение, 1971. – 283с.

3. Справочник спасателя. – М.: ФЦ ВНИИ ГОЧС. 2006. – 204с. – (Надводные и подводные спасательные работы; кн. 8.).

4. Planas-Cuchi, Eulalia., Casal, Joaquim., Lancia, Antonio., and Bordignon, Leo., “Protection of Equipment Engulfed in a Pool Fire” Journal of Loss Prevention in the Process Industry . No 3, Volume 9 (1996).

5. Leblanc D. Fire environments typical of navy ships: дис. – Worcester Polytechnic Institute, 1998.

6. Грамузов Е.М. Определение основных характеристик спасательного судна методом совместного решения уравнений теории проектирования / Е.М. Грамузов, В.К. Май // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2013. – №6(22).

7. Ship design and construction. – Jersey City, NJ : Society of Naval Architects and Marine Engineers, 2004. – Т. 2. – С. 40.1-40.34.

8. Кропивницький В.С. Визначення показників ефективності виконання цільових завдань водного транспортного засобу при ліквідації надзвичайних ситуацій / Кропивницький В.С. // Науковий Вісник НЛТУ України: зб. наук. праць. – Львів: РВВ НЛТУ України. – 2015 р. – Вип.: 25.10. – С. 226-234.

9. Гуліда Е.М. Визначення прогнозованого часу гасіння пожежі на промислових підприємствах / Е.М. Гуліда, І.О. Мовчан, Д.П. Войтович // Проблемы пожарной безопасности: Сб. науч. трудов. – Харьков, 2008. – Вып. 23. – С. 241-247. – Режим доступа : <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol24/lisnjak.pdf>.

А.Я. Калиновский, В.С. Кропивницький, А.Н. Ларин, Д.В. Донской

#### **Определение показателей эффективности выполнения целевых задач пожарно-спасательного катера**

Определен комплекс показателей эффективности выполнения целевых задач по ликвидации чрезвычайных ситуаций связанных с пожарами на водных объектах и методы их оценки для пожарно-спасательного катера, которые учитывают относительное время выполнения соответствующих модельных задач.

**Ключевые слова:** пожарно-спасательный катер, показатель эффективности выполнения целевых задач.

A. Kalinovskiy, V. Kropyvnytskyi, A. Larin, D. Donskoy

#### **Definition of performance indicators of the targets fire rescue boat**

The complex of performance indicators of targets for liquidation of emergency situations involving fires on water bodies and methods of evaluation for the fire and rescue boats, which take into account the relative time of implementation of the relevant model problems.

**Keywords:** Fire and rescue boat, measure the effectiveness of the targets.