



**Ю. Ю. Дендаренко, В. І. Дивень, О. Д. Блащук**

*Черкаський інститут пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля  
Національного університету цивільного захисту України, м. Черкаси, Україна*

## ЕФЕКТИВНІСТЬ РАДІАЛЬНОГО ВОДЯНОГО СТРУМЕНЯ-ЕКРАНА В ЗОНІ ТЕПЛОЇ ДІЇ ДИФУЗІЙНОГО ФАКЕЛА ПОЛУМ'Я

Встановлено можливість застосування радіальних водяних струменів-екранів у вертикальній площині – для захисту від теплового потоку дифузійного факела полум'я, а також у горизонтальній площині – для гасіння низових лісових пожеж. Розглянуто різні насадки-розпилювачі, які застосовують під час вирішення проблеми створення вертикального водяного екрана для захисту від теплового потоку резервуарів об'ємом від 500 м<sup>3</sup> до 2000 м<sup>3</sup>, а також для створення радіального водяного струменя в горизонтальній площині для гасіння лісових пожеж з низовим характером поширення. З'ясовано, що за детального розгляду компактного та розпиленого водяних струменів можна спостерігати наявність двох фаз: компактною (активною) та розпиленою (пасивною). У всіх випадках застосування цих струменів для охолодження, зрощення та захисту фізичних об'єктів від теплового впливу факела полум'я використовують тільки активну фазу, оскільки тільки ця фаза струменя є суцільним потоком і тому повністю виконує функцію охолодження чи поглинання (екранування) теплової енергії. Під час гасіння низових лісових пожеж цей фактор вирішального значення не має, тому активно використовують радіальний водяний струмінь на повну довжину з максимальним сектором розпилення води.

**Ключові слова:** тепловий потік; резервуар; насадок; струмені.

**Вступ.** За сучасного підходу до гасіння пожеж на складах нафти і нафтопродуктів (СНН) захист палаючого та сусідніх з ним резервуарів з нафтопродуктом забезпечують подаванням на верхній пояс стінок резервуара компактних водяних струменів для інтенсивного охолодження їхніх поверхонь, що перешкоджає виникненню температурних напружень металу з подальшою втратою конструктивних параметрів (несних огорожувальних властивостей) досить тонких стінок резервуара.

Внаслідок проливання великої кількості води (близько 15-180 л/с) (Ivannikov & Klius, 1987), всередині обвалування групи резервуарів створюється значний шар води, який згодом не дає змоги ефективно маневрувати особовому складу, а у разі виникнення екстремальної ситуації – швидко залишити небезпечну зону (Dendarenko, 2004).

Під час гасіння пожеж і здійснення захисних дій (створення водяних завіс) на об'єктах різного призначення застосовують турбінні та щільні насадки-розпилювачі на пожежні стволи: насадки-розпилювачі віялового типу (РВ-12) – конічний насадок, що сходиться, з металевим екраном на виході струменя для отримання водяної завіси – та насадки-розпилювачі турбінні (НРТ-5, НРТ-10, НРТ-20) – насадки Вентурі. Насадки-розпилювачі НРТ-5, НРТ-10 та РВ-12 встановлюють на ручні стволи РС-70 замість насадків для створення компак-

тних водяних струменів. Насадок-розпилювач НРТ-20 ставлять замість насадка компактного струменя на лафетний ствол ПЛС-20П (ПЛС-20С).

Стволи з насадками НРТ-5, 10, 20 створюють розпилений струмінь на великій відстані, але незначного діаметра (кута розкриття). Окрім цього, на максимальній відстані від зрізу насадка водяний струмінь втрачає силу інерції потоку і максимально розпилюється (для НРТ-20 ця відстань дорівнює  $\approx 25$  м), що не дає змоги досягти потрібної інтенсивності охолодження борту резервуара (0,2 л/с·м) (Ivannikov & Klius, 1987). Пропонуємо замість охолодження стінок резервуара компактними водяними струменями створити певний тепловий екран, який забезпечить ефективний термічний захист металевих стінок резервуара в зоні теплового впливу дифузійного факела полум'я (Dendarenko, 2004).

**Матеріали та методи дослідження.** Практикою встановлено, що за умовами ефективного використання компактного водяного струменя активно бере участь у гасінні та охолодженні фізичного об'єкта приблизно третя частина довжини струменя (Ivannikov & Klius, 1987, p. 161).

На рис. 1 представлено схему компактного водяного струменя з активною I та пасивною II фазами. Нерозривність або суцільність потоку забезпечується тільки в компактній частині струменя. У роздробленій частині

### Інформація про авторів:

**Дендаренко Юрій Юрьевич**, канд. техн. наук, доцент кафедри пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт.

Email: dendarenko61@gmail.com

**Дивень Валентин Іванович**, канд. істор. наук, доцент кафедри пожежно-профілактичної роботи. Email: valentin\_diven@ukr.net

**Блащук Олександр Дмитрович**, завідувач відділення заочного навчання. Email: blaschukalexanderdmtrievich@gmail.com

**Цитування за ДСТУ:** Дендаренко Ю. Ю., Дивень В. І., Блащук О. Д. Ефективність радіального водяного струменя-екрана в зоні теплової дії дифузійного факела полум'я. Науковий вісник НЛТУ України. 2017. Вип. 27(9). С. 104–106.

**Citation APA:** Dendarenko, Yu. Yu., Dyven, V. I., & Blashchuk, O. D. (2017). Efficiency of the Radial Water Jet-Screen in the Heat Influence Zone of the Diffusion Torch-Like Flame. *Scientific Bulletin of UNFU*, 27(9), 104–106. <https://doi.org/10.15421/40270922>

струменя відбувається його розрив на великі водяні фрагменти, суцільність струменя порушується і струмись розширюється. У краплинній частині струменя водяний потік складається з безлічі крапель і струмись вже представляє краплинно-водяний факел. Таку характерну трансформацію струменя розглядають у гідравліці (Chugaev, 1982).

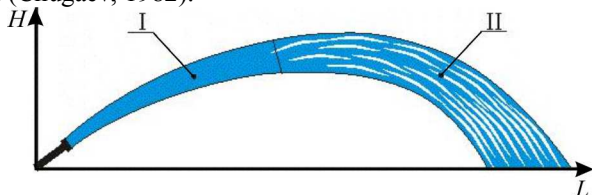


Рис. 1. Схема компактного водяного струменя з активною I та пасивною II фазами

Причиною такої трансформації водяних струменів у повітрі є порушення стійкості руху струменя внаслідок дії сил інерції і гравітації. Мізерно малі збурювання на поверхні струменя при виході із сопла створюють поперечні коливання, що під дією сил поверхневого натягу і в'язких сил будуть збільшуватися. За переважного впливу поверхневого натягу і малого впливу сил в'язкості збурювання на поверхні струменя зростають, струмись розширюється й у кінцевому підрахунку розбивається на краплі. Якщо в'язкість значна і під час руху струменя її тертя об повітря на поверхні превалює над поверхневим натягом, збурювання на поверхні струменя стає синусоїдальним і руйнування струменя пришвидшується в міру збільшення швидкості витікання.

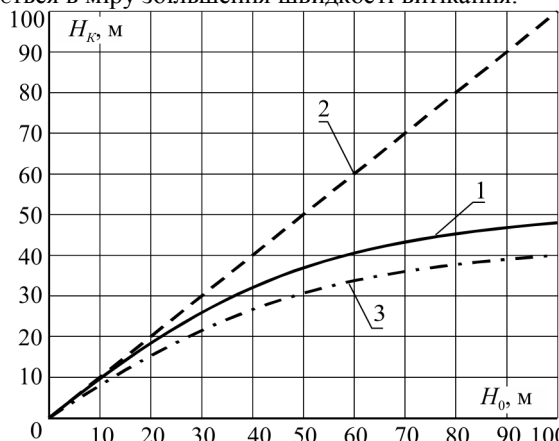


Рис. 2. Залежність  $H_K$  від  $H_0$  для круглого струменя з лафетного ствола з  $d_H = 25$  мм: 1 – фактичні дані; 2 – з урахуванням тільки сил поверхневого натягу; 3 – з урахуванням тільки сил в'язкості (Sherenkov & Dendarenko, 2002; Agroskin, Dmitriev & Pikalov, 1964)

На рис. 2 представлено залежність довжини компактного водяного струменя  $H_K$  з лафетного ствола ПЛС-20П (діаметр насадка  $d_H = 25$  мм) від напору на стволі  $H_0$ . Дані рис. 2 підтверджують, що досягти максимальної довжини компактного водяного струменя  $\approx 48$  м (крива 1) за останніми краплями можна тільки за напором 100 м. Враховуючи зазначене вище, компактний водяний струмись ефективно діє у межах 1/3 своєї довжини, тобто 16 м, хоча для розрахунків сил і засобів глибина гасіння  $h_z$  для лафетних стволів приймається 10 м. У жодному з цих випадків відділення на пожежній автоцистерні вийти на оперативну позицію на таку відстань до палаючого резервуара не в змозі через існування теплового бар'єру від суцільного фронту полум'я за ним.

Окрім цього, робочий напір на стволі з урахуванням втрат напору по горизонталі (долання водяного потоку сил тертя по пожежних рукавах) і вертикалі (долання сил земного тяжіння швидкісним напором струменя на висоту верхнього поясу резервуара з нафтопродуктом для охолодження) необхідно тримати у межах 70-80 м вод. ст. (Ivannikov & Klius, 1987, table 3.25).

Встановлення водяних завіс у вигляді розпиленого водяного струменя-екрана перед ствольниками не має ефективності через незначну для цієї ситуації висоту їх створення. Згідно з тактико-технічними характеристиками насадків-розпилювачів турбінного та щільного типів, найвищу висоту водяної завіси створює щільний розпилювач віялового типу РВ-12-8 м, а висота полум'я на пожежі може досягати 30 м. Окрім цього, тепловий потік від факела полум'я на сусідні РВС падає у такій площині, за якої захист від нього можливий тільки в разі точно визначених гідравлічних і геометричних параметрів водяної завіси-екрана (рис. 3).

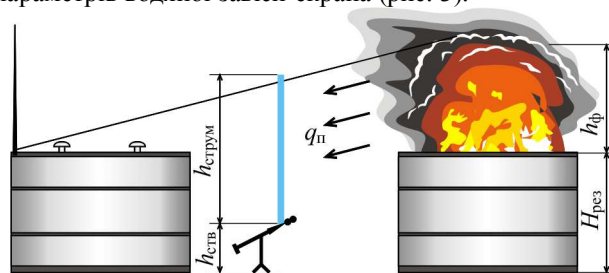


Рис. 3. Принципова схема захисту резервуара з нафтопродуктом від теплового потоку факела полум'я за допомогою водяної завіси-екрана

На рис. 3 показано, що відносно повне поглинання енергії теплового випромінювання відбудеться тільки після точного геометричного розрахунку встановлення ПЛС-20П відносно рівня землі та гідравлічного розрахунку параметрів водяної завіси-екрана.

**Результати дослідження та їх обговорення.** Отже, встановлено, що водяною завісою, яку створює спеціальний насадок на лафетний ствол, встановлений під кутом  $43,5^\circ$  на відстані 6,3 м від резервуара та висоті 2,5 м, за довжини струменя 30 м і кута розпилення  $47^\circ$ , можна створити вертикальний водяний екран між палаючим та сусіднім резервуарами для зберігання нафти і нафтопродуктів. У цьому випадку такий екран зможе захистити найбільш небезпечну зону резервуара об'ємом до  $2000 \text{ м}^3$  від дії теплового впливу дифузійного факела полум'я палаючого резервуара за відстані між ними 12,6 м.

Остаточний висновок про ефективність застосування радіального водяного струменя-екрана під час захисту резервуара з нафтою або нафтопродуктом можна робити тільки після проведення моделювання взаємодії елементів системи "палаючий резервуар – радіальний водяний струмись – сусідній непалаючий резервуар" та порівняння результатів цих розрахунків з результатами експериментів, що є матеріалом наступних публікацій.

На рис. 4 показано запропоновану авторську схему розташування сил і засобів пожежно-рятувальних підрозділів під час виконання операцій теплового захисту резервуарів з нафтою чи нафтопродуктом від потоку теплової енергії дифузійного факела полум'я палаючої місткості № 1. У цьому випадку резервуари № 2 і 3 є сусідніми, аварійними, тобто ті, які піддаються дії теплового потоку, тому вертикальні водяні завіси-екрани,

що встановлені між резервуарами № 1 і 2, а також між № 1 і 3 є водяними завісами, які поглинають тепловий потік від факела полум'я резервуара № 1.

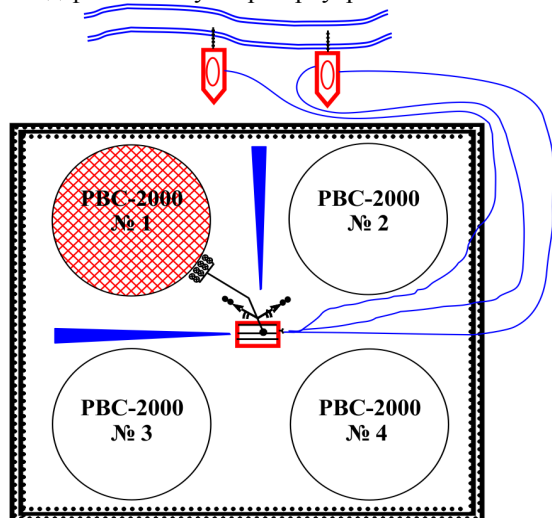


Рис. 4. Розташування сил і засобів із захисту двох PBC

#### Висновки

1. Використання методу поглинання та екранування теплового потоку за допомогою радіальних водяних струменів-екранів дало змогу запропонувати новий спосіб захисту сусідніх з палаючим резервуарів, який, на відміну від традиційного способу, дає змогу здійснити операції із захисту без залучення персоналу, оскільки

після встановлення необхідних пристроїв немає потреби у присутності персоналу.

2. Встановлено, що цей спосіб (див. рис. 3, 4) дає змогу скоротити кількість персоналу підрозділів пожежно-рятувальної служби, який залучають до створення системи водяного захисту, і витрати води в середньому в 4,5 і 4,6 раза відповідно, що на 77 та 78 % менше, ніж за традиційною методикою охолодження резервуарів.
3. Радіальний водяний струмінь-екран, встановлений як вертикальна водяна завіса віялового типу, у разі переорієнтування у горизонтальну площину, спроможний діяти на палаючу площу низової лісової пожежі на довжину до 30 м із сектором розпилення 47°.

#### Перелік використаних джерел

- Agroskin, I. I., Dmitriev, G. T., & Pikalov, F. I. (1964). *Gidravlika*. Moscow–Leningrad: Energiia. 368 p. [in Russian].
- Chugaev, R. R. (1982). *Gidravlika*. Leningrad: Energoizdat. 672 p. [in Russian].
- Dendarenko, Yu. Yu. (2004). Radialni vodiani strumeni-ekrany dlia protypozhezhnoho zakhystu. *Candidate Dissertation for Technical Sciences* (05.23.16 – Hydraulics and engineering hydrology). Kharkivskiy derzh. tekhn. un-t bud. ta arkhiv. Kharkiv. 121 p. [in Ukrainian].
- Ivannikov, V. P., & Klius, P. P. (1987). *Spravochnik rukovoditelia tusheniia pozhara*. Moscow: Stroizdat. 288 p. [in Russian].
- Sherenkov, I. A., & Dendarenko, Yu. Yu. (2002). Veernye svobodnye vodiane struy dlia teplozashchyty pry pozharakh. *Naukovyi zbirnyk budivnytstva*, 18, 293–297. [in Ukrainian].

**Ю. Ю. Дендаренко, В. И. Дивень, А. Д. Блащук**

*Черкасский институт пожарной безопасности им. Героев Чернобыля  
Национального университета гражданской защиты Украины, г. Черкассы, Украина*

### ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАДИАЛЬНОЙ ВОДЯНОЙ СТРУИ-ЭКРАНА В ЗОНЕ ТЕПЛООВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОТОКА ДИФфуЗИОННОГО ФАКЕЛА ПЛАМЕНИ

Установлена возможность использования радиальных водяных струй-экранов в вертикальной плоскости с целью защиты от теплового потока диффузионного факела пламени, а также в горизонтальной плоскости для тушения низовых лесных пожаров. Рассмотрены различные насадки-распылители, которые используются при решении проблемы создания вертикального водяного экрана для защиты от теплового потока резервуаров емкостью от 500 м<sup>3</sup> до 2000 м<sup>3</sup>, а также для создания радиальной водяной струи в горизонтальной плоскости для тушения лесных пожаров с низовым характером распространения. Выяснено, что при детальном рассмотрении компактной и распыленной водяных струй можно наблюдать существование двух фаз: компактной (активной) и распыленной (пассивной). Во всех случаях применения этих струй для охлаждения, орошения и защиты физических объектов от теплового воздействия факела пламени используют только активную фазу, поскольку только эта фаза струи является сплошным потоком и поэтому полностью выполняет функцию охлаждения или поглощения (экранирования) тепловой энергии. При тушении низовых лесных пожаров этот фактор решающего значения не имеет, поэтому активно используется радиальная водяная струя на полную длину с максимальным сектором распыла воды.

**Ключевые слова:** тепловой поток; резервуар; насадка; струя.

**Yu. Yu. Dendarenko, V. I. Dyven, O. D. Blashchuk**

*Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes  
of National University of Civil Defense of Ukraine, Cherkasy, Ukraine*

### EFFICIENCY OF THE RADIAL WATER JET-SCREEN IN THE HEAT INFLUENCE ZONE OF THE DIFFUSION TORCH-LIKE FLAME

The possibility of using radial water jet-screens in the vertical plane in order to protect the diffusion torch-like flame from the heat flow, as well as in the horizontal plane when extinguishing ground forest fires is defined. The authors have studied different nozzles for spraying, which are used to solve the problem of creating a vertical water screen for protection of reservoirs capacity from 500 m<sup>3</sup> to 2000 m<sup>3</sup> against heat flow, as well as to create a radial water jet in the horizontal plane when extinguishing ground forest fires. We have also investigated a spray jet with a certain opening angle of the water torch can be used when the metal wall of the reservoir is irrigated in case of a heat flux affecting it, which occurs when the burning tank is in the same group with other non-burning containers, and the descending heat flux simultaneously acts on the breathing apparatus and the vertical metal wall of the reservoir with oil. We have found that in a detailed examination of compact and spray water jets two phases may be observed: compact (active) and spray (passive). In all cases, the active phase of using these jets for cooling, irrigation and protection of physical objects from the thermal effect of the torch-like flame is applied, since only this jet phase is a continuous stream and therefore completely performs the function of cooling or absorption (shielding) of thermal energy. This factor does not matter decisively when extinguishing ground forest fires. Therefore, the radial water jet is actively used at full length with maximum spraying water sector. Such a method of extinguishing with the use of a radial water jet can also be used in case of a fire of a spilled oil product over the area. But in this case, the pressure on the barrel is reduced by half in order to prevent the increase in the energy of the jet, which contributes to the division of the fire area into separate combustion sites with the increase of the total burning area.

**Keywords:** heat flow; tank; nozzle; water monitor jet.