

С. В. СТАСЬ, А. О. БИЧЕНКО, Д. В. КОЛЕСНИКОВ, О. І. МИГАЛЕНКО, М. О. ПУСТОВІТ

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОЖЕЖНИХ РУКАВІВ ПІД ЧАС ПОДАЧІ ВОГНЕГАСНИХ РЕЧОВИН

Окремі напірні пожежні рукави різного діаметру і лінії, що складаються з них, є основною частиною системи транспортування води та робочих розчинів піноутворювачів до осередку пожежі. Максимальна довжина магістральних і робочих рукавних ліній в багатьох випадках є визначальним фактором ефективності гасіння пожежі. Дальність подачі вогнегасних засобів безпосередньо залежить від максимального напору пожежного насоса, втрат напору в магістральних і робочих рукавних лініях, необхідного напору на пристроях подачі вогнегасних засобів та висоти розташування пристроїв подачі вогнегасних засобів. Втрати напору в пожежному рукаві залежать від геометричних параметрів рукава, типу і стану внутрішньої поверхні пожежного рукава, кількості води, що проходить по рукаву за одиницю часу. При практичних розрахунках втрат напору в рукавній лінії прийнято використовувати величину гідравлічного опору одного пожежного рукава певного діаметру. Під дією робочого тиску геометричні параметри рукава і рукавної лінії змінюються, змінюється і значення гідравлічної шорсткості внутрішньої поверхні пожежного рукава. В роботі представлені результати вимірювання основних геометричних параметрів декількох видів пожежних рукавів при транспортуванні води (їх зовнішнього діаметра і довжини). Були використані 3 типи рукавів, зразки відібрано випадковим чином, всі рукави раніше використовувалися під час реальної роботи пожежних підрозділів оперативно-рятувальної служби. Кожного з типів рукавів було взято по 6 одиниць. Результати, представлені в роботі, є усередненням для кожного з трьох типів рукавів. Акцентовано увагу на зміну внутрішнього об'єму рукавів та їх маси, питання зміни втрат напору по довжині не розглядалися. Було практично підтверджено істотне подовження декількох типів рукавів при транспортуванні води.

Ключові слова: пожежний рукав, рукавна лінія, транспортування води, вогнегасна рідина, робочий тиск, втрати напору.

С. В. СТАСЬ, А. О. БИЧЕНКО, Д. В. КОЛЕСНИКОВ, А. И. МИГАЛЕНКО, М. А. ПУСТОВИТ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЖАРНЫХ РУКАВОВ ВО ВРЕМЯ ПОДАЧИ ОГнетушащих Веществ

Одиночные напорные пожарные рукава разного диаметра и состоящие из них рукавные линии являются основной частью системы транспортировки воды и рабочих растворов пенообразователей к месту пожара. Максимальная длина магистральных и рабочих рукавных линий во многих случаях является определяющим фактором эффективности тушения пожара. Дальность подачи огнетушащих веществ непосредственно зависит от максимального напора пожарного насоса, потерь напора в магистральных и рабочих рукавных линиях, необходимого напора на устройстве подачи огнетушащих средств и высоты расположения устройства подачи огнетушащих веществ. Потери напора в пожарном рукаве зависят от геометрических параметров рукава, типа и состояния внутренней поверхности пожарного рукава, количества воды, проходящей по рукаву за единицу времени. При практических расчетах потерь напора в рукавной линии принято использовать величину гидравлического сопротивления одного пожарного рукава определенного диаметра. Под действием рабочего давления геометрические параметры рукава и рукавной линии меняются, меняется и значение гидравлической шероховатости внутренней поверхности пожарного рукава. В работе представлены результаты измерения основных геометрических параметров нескольких типов пожарных рукавов при транспортировке воды (их внешнего диаметра и длины). Были использованы 3 типа рукавов, образцы отобраны случайным образом, все рукава ранее использовались во время реальной работы пожарных подразделений оперативно-спасательной службы. Каждого из типов рукавов было взято по 6 экземпляров. Результаты, представленные в работе, являются усреднением для каждого из трех типов рукавов. Акцентируется внимание на изменении внутреннего объема рукавов и их массы, вопросы изменения потерь напора по длине не рассматривались. Было практически подтверждено существенное удлинение нескольких типов рукавов при транспортировке воды.

Ключевые слова: пожарный рукав, рукавная линия, транспортировка воды, огнетушащая жидкость, рабочее давление, потери напора.

S. STAS, A. BYCHENKO, D. KOLESNIKOV, O. MYHALENKO, M. PUSTOVIT

EXPERIMENTAL STUDY OF CHANGES IN THE GEOMETRIC PARAMETERS OF FIRE HOSES DURING THE SUPPLY OF EXTINGUISHING AGENTS

Separate pressure fire hoses of different diameters and lines consisting of them are the main part of the system for transporting water and working solutions of foaming agents to the fire source. The maximum length of main and working hose lines in many cases is a determining factor in the effectiveness of fire extinguishing. The range of fire extinguishing agents supply directly depends on the maximum pressure of the fire pump, pressure losses in the main and working hose lines, the required pressure on the fire extinguishing equipment supply devices and the height of the fire extinguishing equipment supply devices. Pressure losses in the fire hose depend on the geometric parameters of the hose, the type and condition of the inner surface of the fire hose, and the amount of water passing through the hose per unit time. In practical calculations of pressure losses in the hose line, it is customary to use the value of the hydraulic resistance of one fire hose of a certain diameter. Under the influence of the working pressure, the geometric parameters of the hose and hose line change, and the value of the hydraulic roughness of the inner surface of the fire hose also changes. The paper presents the results of measuring the main geometric parameters of several types of fire hoses during water transportation (their outer diameter and length). 3 types of hoses were used, samples were selected randomly, all hoses were previously used during the real activity of firefighting units. Each of the types of hoses was taken 6 units. The results presented in this paper are averaged for each of the three types of hoses. Attention was paid to changes in the internal volume of the hoses and their mass, the issues of changing the pressure loss along the length were not considered. Significant elongation of several types of hoses during water transportation was practically confirmed.

Keywords: fire hose, hose line, water transportation, fire extinguishing liquid, working pressure, pressure losses.

Вступ та аналіз основних досліджень. Основним способом транспортування вогнегасних речовин на місці пожежі є подача води та робочих

розчинів піноутворювача по напірних пожежних рукавах до приладів подачі та формування пожежних водяних та пінних струменів. Пожежні напірні

© С. В. Стась, А. О. Биченко, Д. В. Колесніков, О. І. Мигаленко, М. О. Пустовіт, 2021

рукави – це гнучкі трубопроводи, призначені для транспортування вогнегасних речовин під тиском. Напірні рукави складаються з тканого каркасу та внутрішнього гідроізоляційного покриття. Для виготовлення каркасу використовують, як правило, нитки, виготовлені з натуральних або синтетичних волокон, внутрішня гідроізоляція рукава здійснюється за допомогою гуми, латексу, поліуретану.

Рукави з натуральних волокон зараз використовуються рідко і основними типами пожежних рукавів є прогумовані, латексні рукави або рукави з двостороннім полімерним або поліуретановим покриттям. Стандартною довжиною напірного рукава є довжина 20 метрів \pm 1 метр. Переважно використовуються пожежні рукави з діаметрами 51, 66, 77, 150 мм із умовними проходами 50, 70, 80, 150 мм відповідно. З одиночних пожежних рукавів складаються рукавні лінії, які поділяються на магістральні та робочі. У перших, як правило, використовуються рукави великих діаметрів, таких як 77, 150 мм, у робочих лініях використовують рукави з діаметром 51, 66, 77 мм.

При використанні пожежних рукавів спостерігаються ті самі явища, що властиві звичайним трубопроводам, такі як втрати напору по довжині, гідродари тощо. У пожежній справі особлива увага приділяється втратам напору по довжині рукавних ліній, і власне, довжина рукавних ліній обмежується як можливостями пожежних насосів, так і втратами напору в рукавних лініях. Також у маловодних районах й при використанні гідроелеваторних схем доводиться враховувати кількість води, необхідної для заповнення рукавної лінії.

Для розрахунку втрат напору в пожежних рукавах використовують значення питомого гідравлічного опору одного метра пожежного рукава певного діаметра і значення гідравлічного опору стандартного пожежного рукава довжиною 20 метрів визначеного діаметра. Для практичних розрахунків найчастіше використовують значення гідравлічного опору одного пожежного рукава.

Насправді робочий тиск більшість пожежних рукавів не перевищує 1,2 МПа.

Оскільки рукав має тканину основу, внаслідок дії робочого тиску води, він набуває деформацій, таких як збільшення діаметра, подовження та закручування. Саме тому практичний інтерес мають перед усім збільшення діаметра і збільшення довжини рукава, оскільки ці показники безпосередньо впливають на опір рукава і рукавної лінії в цілому, а також, змінюють значення об'єму рідини, необхідного для заповнення рукавної лінії. Відповідно до державного стандарту [ДСТУ 9069:2021 Протипожежна техніка. Рукави пожежні плоскоскладані для пожежно-рятувальних автомобілів. Загальні вимоги та методи випробування] збільшення рукава діаметром не повинно перевищувати 10 %, а збільшення за довжиною не повинно перевищувати 8–13 % залежно від довжини рукава. Зрозуміло, що така зміна геометричних характеристик рукавів спричинить неминучу зміну

його гідравлічних характеристик.

Явище зменшення гідравлічного опору в пожежних рукавних лініях привертає увагу через потенційну можливість зниження витрат при транспортуванні рідини до місця її генерування в осередок пожежі, оскільки щонайменше 85 % всіх пожеж гасять з використанням пожежних рукавів. При цьому можуть бути спрощені (послаблені) вимоги до насосного обладнання, що забезпечує потрібні значення тиску рідини перед подачею на пожежний ствол, а також досягнуто збільшення фактичної витрати.

Механізми розрахунку насосно-рукавних систем, що базуються на гідравлічних методиках розрахунків, повинні враховувати такі особливості напірних рукавів, як збільшення їх діаметрів при транспортуванні та подачі вогнегасних речовин до місця пожежі при різних тисках рідини.

Фактичне зменшення гідравлічного опору в пожежних рукавних лініях у такому випадку може бути забезпечене двома підходами: використанням безадитивних методів і методів введення у потік спеціальних добавок [1]. Найчастіше використовується другий підхід, коли зниження гідравлічного опору досягається за допомогою полімерних добавок, що і є предметом дослідження в даній галузі упродовж останніх десятиліть [2–4].

Іноді може йтися про здатність знижувати лобовий опір до 80 % при введенні добавок у малих концентраціях [1]. І, хоча є багато підходів до пояснення механізмів зменшення опору, не можна стверджувати, що з цього приводу існує єдина загальноприйнята думка.

Разом із тим, явище зазначеного ефекту для пожежних може бути вкрай корисним як у системах автоматичного водяного пожежогасіння [5, 6], так і при використанні пожежних рукавів [7] або спеціальних пожежних стволів та насадок [8].

Особливості вимірювань геометричних параметрів пожежних рукавів під час подачі вогнегасних речовин та отримані результати. Вимірювання геометричних параметрів досліджуваних пожежних рукавів (рис. 1) проводилося для з'ясування характеру змін, що відбуваються внаслідок протікання ними рідин, насамперед йшлося про визначення діаметра та довжини рукавів.

Зроблені виміри рукавів (ми навмисне не вказуємо виробників, оскільки отримання більш коректних даних слід було б зробити значно складніші експерименти й у більшій кількості) дозволило виділити загальні закономірності для конкретних досліджуваних рукавів.

Насамперед, слід зазначити, що зміна діаметра при різних значеннях тисків від 0,1 до 0,8 МПа була несуттєвою і не перевищила 2,99 % збільшення для прогумованого рукава діаметром 51 мм при тиску 0,6 МПа.

В інших випадках значення зміни діаметра було ще меншим, що в деяких випадках можна порівняти з похибкою проведених вимірювань.



Рис. 1. Вимірювання геометричних параметрів досліджуваних пожежних рукавів (зміна діаметра): 1 – рукав напірний пожежний латексний діаметром 51 мм тип Т; 2 – рукав напірний латексний пожежний діаметром 77 мм тип Т; 3 – рукав пожежний напірний із двостороннім полімерним покриттям 51 мм тип Т

Зафіксовані в результаті проведення експериментів зміни довжини рукавів (рис. 2) були суттєвішими.

Так, при генеруванні потоку вогнегасної рідини з використанням рукава діаметром 77 мм при тиску на його вході 0,8 МПа зміна довжини склала 790 мм (рис. 3, гілка 3). Таким чином, для даного рукава відносно подовження становило 0,04 (довжина рукава 2011 см).

Надалі має бути здійснено вимірювання при максимальних тисках, допустимих для кожного з типів рукавів.

Згідно [9] у рукавах при подачі води відбувається зміна їх довжини та площі поперечного перерізу, при цьому тонка гумова або латексна прокладка під напором води втискається в тканину основу рукава, внаслідок чого шорсткість внутрішньої поверхні дещо збільшується, а пряма лінія рукавів у зв'язку з подовженням стає хвилястою.

Тобто, з одного боку зменшуються втрати напору внаслідок збільшення діаметра, а з іншого – зростатимуть втрати напору через збільшення шорсткості та подовження лінії. У перспективі слід перевірити чи будуть вірні оцінювати один одного ці процеси з позиції втрат напору, про що стверджується в [9] й, відповідно, чи можна їх не враховувати.

Вказана на рис. 3 картина зміни довжини досліджуваних пожежних рукавів характерна для нормальних режимів експлуатації рукавів, коли тиск не перевищує 0,8 МПа. Які зміни відбуватимуться у разі суттєвого підвищення тиску, потрібно ще дослідити. Передбачається, що графіки продовжать зростати, тобто подальше збільшення тиску призводитиме до подовження рукавів.

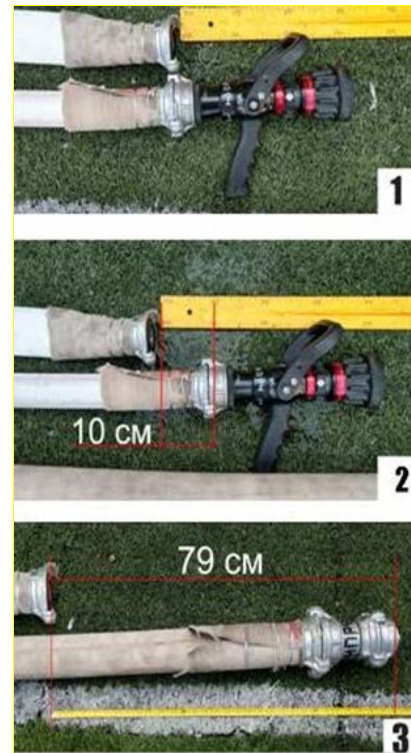


Рис. 2. Вимірювання геометричних параметрів досліджуваних пожежних рукавів (зміни довжини): 1 – фіксація вихідного стану; 2 – порівняльне збільшення (під дією робочого тиску) довжини рукава діаметром 51 мм; 3 – порівняльне збільшення (під дією робочого тиску) довжини рукава діаметром 77 мм

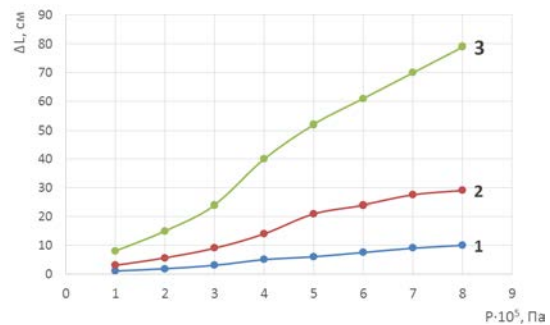


Рис. 3. Картина зміни довжини пожежних рукавів: 1 – рукав напірний пожежний латексний діаметром 51 мм тип Т; 2 – рукав напірний латексний пожежний діаметром 77 мм тип Т; 3 – рукав пожежний напірний із двостороннім полімерним покриттям 51 мм тип Т

Висновки. Факт подовження пожежних рукавів під час подачі вогнегасних речовин відомий. Більш того, державні стандарти регламентують максимальні значення таких змін. Оскільки в даний час на ринку пожежно-технічного обладнання істотно зріс асортимент пропозицій пожежних рукавів, і в пожежних частинах використовуються різні їх типи, було перевірено реальний стан досліджуваного питання для конкретної навчальної пожежно-рятувальної частини.

У статті наведено результати вимірювань збільшення геометричних розмірів рукавів залежно від робочого тиску. І хоча можна стверджувати, що у реальній роботі пожежних встановлені у роботі величини змін геометричних параметрів не мають

істотного впливу, повністю їх ігнорувати у окремих випадках не можна.

У зв'язку з удосконаленням обладнання та виробництва пожежних рукавів актуальним є вивчення питання впливу зміни геометричних розмірів пожежних рукавів на їх гідравлічні характеристики, а саме на коефіцієнт гідравлічного опору пожежного рукава, оскільки величина падіння напору по довжині рукавних ліній може бути визначальною. Зазначене може стосуватися випадків прокладання рукавних ліній на великі відстані, при гасінні пожеж у висотних будинках тощо.

Список літератури

- Asidin M. A., Suali E., Jusnukin T., Lahin F. A. Review on the applications and developments of drag reducing polymer in turbulent pipe flow. *Chinese Journal of Chemical Engineering*. 2019. Vol. 27, issue 8. P. 1921–1932. doi: 10.1016/j.cjche.2019.03.003
- Xi L. Turbulent drag reduction by polymer additives: Fundamentals and recent advances. *Physics of Fluids*. 2019. Vol. 31, issue 12, 121302. doi: 10.1063/1.5129619
- Voulgaropoulos V., Zadrazil I., Le Brun N., Bismarck A., Markides C. N. On the link between experimentally-measured turbulence quantities and polymer-induced drag reduction in pipe flows. *AIChE Journal*. 2019. Vol. 65, issue 9, 16662. doi: 10.1002/aic.16662
- Benzi R., Ching E. S. C. Polymers in Fluid Flows. *Annual Review of Condensed Matter Physics*. 2018. Vol. 9(1). P. 163–181. doi: 10.1146/annurev-conmatphys-033117-053913
- Stas S., Maglyovana T., Nyzhnyk T., Kolesnikov D., Strikalenko T. Improving the efficiency of water fire extinguishing systems operation by using guanidine polymers. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 1, no. 10 (103). P. 20–25. doi: 10.15587/1729-4061.2020.196881
- Стась С. В. Анализ гидродинамических характеристик потока жидкости в специальных пожарных стволах и насадках шелевого типа. *Вісник Нац. техн. ун-ту України «КПІ». Сер.: Машинобудування*. Київ: НТУУ «КПІ». 2009. № 57. С. 139–142.
- Yakhno O., Stas S., Gnativ R. Taking into account the fluid compressibility at its unsteady flow in pressure pipelines of fire extinguishing systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2015. Vol. 3, no. 7 (75). P. 38–42. doi: 10.15587/1729-4061.2015.42447
- Яхно О. М., Семинская Н. В., Колесников Д. В., Стась С. В. Дестабилизация потока в канале с изменяющимся по длине расходом. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2014. Т. 3, № 7 (69). С. 45–49. doi: 10.15587/1729-4061.2014.24658
- Лаврівський З. В., Мандрус В. І. *Технічна механіка рідин та газів: навч. посіб.* Львів: СПОЛОМ, 2004. 191 с.

References (transliterated)

- Asidin M. A., Suali E., Jusnukin T., Lahin F. A. Review on the applications and developments of drag reducing polymer in turbulent pipe flow. *Chinese Journal of Chemical Engineering*. 2019, vol. 27, issue 8, pp. 1921–1932. doi: 10.1016/j.cjche.2019.03.003
- Xi L. Turbulent drag reduction by polymer additives: Fundamentals and recent advances. *Physics of Fluids*. 2019, vol. 31, issue 12, 121302. doi: 10.1063/1.5129619
- Voulgaropoulos V., Zadrazil I., Le Brun N., Bismarck A., Markides C. N. On the link between experimentally-measured turbulence quantities and polymer-induced drag reduction in pipe flows. *AIChE Journal*. 2019, vol. 65, issue 9, 16662. doi: 10.1002/aic.16662
- Benzi R., Ching E. S. C. Polymers in Fluid Flows. *Annual Review of Condensed Matter Physics*. 2018, vol. 9 (1), pp. 163–181. doi: 10.1146/annurev-conmatphys-033117-053913
- Stas S., Maglyovana T., Nyzhnyk T., Kolesnikov D., Strikalenko T. Improving the efficiency of water fire extinguishing systems operation by using guanidine polymers. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020, vol. 1, no. 10 (103), pp. 20–25. doi: 10.15587/1729-4061.2020.196881
- Stas' S. V. Analiz gidrodinamicheskikh kharakteristik potoka zhidkosti v spetsial'nykh pozharnykh stvolakh i nasadkakh shchelevogo tipa [Analysis of the hydrodynamic characteristics of fluid flow in special fire nozzles and slot-type nozzles]. *Visnyk Nats. tekhn. un-tu Ukrainy "KPI". Seriya: Mashynobuduvannya* [Bulletin of the National Technical University of Ukraine "KPI". Series: Engineering]. Kiev, NTUU "KPI" Publ., 2009, no. 57, pp. 139–142.
- Yakhno O., Stas S., Gnativ R. Taking into account the fluid compressibility at its unsteady flow in pressure pipelines of fire extinguishing systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2015, vol. 3, no. 7 (75), pp. 38–42. doi: 10.15587/1729-4061.2015.42447
- Yakhno O. M., Seminskaya N. V., Kolesnikov D. V., Stas' S. V. Destabilizatsiya potoka v kanale s izmenyayushchimsya po dlينه raskhodom [Destabilization of flow in the channel with variable flow length]. *Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy*. 2014, vol. 3, no. 7 (69), pp. 45–49. doi: 10.15587/1729-4061.2014.24658
- Lavrivskyy Z. V., Mandrus V. I. *Tekhnichna mekhanika ridyn ta haziv* [Technical mechanics of liquids and gases]. Lviv, SPOLOM Publ., 2004. 191 p.

Надійшла (received) 10.10.2021

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Стась Сергій Васильович (Стась Сергей Васильевич, Stas Serhiy) – кандидат технічних наук, доцент, Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, професор кафедри «Техніка та засоби цивільного захисту»; м. Черкаси, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6139-6278>; e-mail: stas_serhiy@yahoo.com

Биченко Артем Олександрович (Биченко Артем Алексеевич, Bychenko Artem) – кандидат технічних наук, доцент, Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, начальник кафедри «Техніка та засоби цивільного захисту»; м. Черкаси, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3788-3268>; e-mail: artem_b2003@ukr.net

Колесников Денис Валерійович (Колесников Денис Валериевич, Kolesnikov Denys) – кандидат технічних наук, доцент, Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, доцент кафедри «Автоматичні системи безпеки та електроустановки»; м. Черкаси, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4068-3454>; e-mail: dekol@bigmir.net

Мигаленко Олександр Іванович (Мигаленко Алексей Иванович, Myhalenko Oleksii) – кандидат економічних наук, Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, старший викладач кафедри «Техніка та засоби цивільного захисту»; м. Черкаси, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2750-1556>; e-mail: muhalenko@rambler.ru

Пустовит Михайло Олександрович (Пустовит Михаил Александрович, Pustovit Mykhailo) – Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, викладач кафедри «Техніка та засоби цивільного захисту»; м. Черкаси, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5313-1459>; e-mail: m.pustovit@gmail.com