

КОМУНАЛЬНЕ ГОСПОДАРСТВО МІСТ MUNICIPAL ECONOMY OF CITIES

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЗБІРНИК
СЕРІЯ: ТЕХНІЧНІ НАУКИ ТА АРХІТЕКТУРА

ТОМ 1 ВИПУСК 189'2025

Ідентифікатор медіа у Реєстрі суб'єктів медіа R30-01140 від 10.08.2023 р.

Наукове фахове видання категорії «Б» за спеціальностями 121, 122, 123, 124, 125, 126, 131, 132, 133, 191, 192, 193, 194, 261, 263, 273, 274, 275 (наказ МОН України № 1301 від 15.10.2019 р.), 141, 183 (наказ МОН України № 1643 від 28.12.2019 р.)

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

БАБАЄВ В.М.	відповідальний редактор, д.держ.упр., голова Вченої ради ХНУМГ ім. О.М. Бекетова
СУХОНОС М.К.	відповідальний секретар, д.т.н., проректор з наукової роботи, ХНУМГ ім. О.М. Бекетова
ДЯДІН Д.В.	к.т.н., ХНУМГ ім. О.М. Бекетова
КОГАЛОВСЬКИЙ В.	к.т.н., Інженерний коледж «Самі Шамун», Ізраїль
ПЛЮГІН В.Є.	д.т.н., ХНУМГ ім. О.М. Бекетова
ЧУМАЧЕНКО І.В.	д.т.н., ХНУМГ ім. О.М. Бекетова
ШЕВЧЕНКО Р.І.	д.т.н., НУЦЗ України
ШМУКЛЕР В.С.	д.т.н., ХНУМГ ім. О.М. Бекетова
ШПАЧУК В.П.	д.т.н., ХНУМГ ім. О.М. Бекетова
АЛЕШ ДІТРИХ	PhD, Технічний університет Ліберці

EDITORIAL BOARD

BABAYEV V.	Editor-in-Chief, Dr.Sc., Chairman of the Academic Council of the O.M. Beketov NUUE
SUKHONOS M.	Executive Managing Editor, Dr. Sc., Vice-rector of the O.M. Beketov NUUE
DIADIN D.	PhD, O.M. Beketov NUUE
KAGALOVSKY V.	PhD, Engineering College “Sami Shamun”, Israel
PLUGIN V.	Dr.Sc., O.M. Beketov NUUE
CHUMACHENKO I.	Dr.Sc., O.M. Beketov NUUE
SHEVCHENKO R.	Dr.Sc., NUCDU
SHMUKLER V.	Dr.Sc., O.M. Beketov NUUE
SHPACHUK V.	Dr.Sc., O.M. Beketov NUUE
ALEŠ DITTRICH	PhD, Technical University of Libere, Czech Republic

КООРДИНАЦІЙНА РАДА

ШУТЕНКО Л.М.	голова координаційної ради, д.т.н., почесний ректор ХНУМГ ім. О.М. Бекетова
ГОВОРОВ П.П.	д.т.н., ХНУМГ ім. О.М. Бекетова
ДАЛЕКА В.Х.	д.т.н., ХНУМГ ім. О.М. Бекетова
ДРЕВАЛЬ І.В.	д.арх., ХНУМГ ім. О.М. Бекетова
ДУШКІН С.С.	д.т.н., ХНУМГ ім. О.М. Бекетова
КОНДРАЩЕНКО О.В.	д.т.н., ХНУМГ ім. О.М. Бекетова
МАЛЯРЕНКО В.А.	д.т.н., ХНУМГ ім. О.М. Бекетова
МИХАЙЛИШИН О.Л.	д.арх., НУВГП
ОСИЧЕНКО Г.О.	д.арх., ХНУМГ ім. О.М. Бекетова
ТОВБИЧ В.В.	д.арх., КНУБА
ФЕЙРУША С.Х.	к.т.н., Університет Салахаддін – Ербіль, Ірак
ХАРЧЕНКО В.Ф.	д.т.н., ХНУМГ ім. О.М. Бекетова
ЧЕЧЕЛЬНИЦЬКИЙ С.Г.	д.арх., ХНУМГ ім. О.М. Бекетова
ЧУДНОВСЬКИЙ А.	к.т.н., Гамбурзький університет, Германія
ЮРКЕВИЧ І.	к.т.н., Астонський університет, Великобританія
ЯНКЕЛЕВИЧ М.	к.т.н., Парсонс, США

COORDINATION COUNCIL

SHUTENKO L.	Chairman of the Coordination Council, Dr.Sc., Honorary Rector of the O.M. Beketov NUUE
GOVOROV P.	Dr.Sc., O.M. Beketov NUUE
DALEKA V.	Dr.Sc., O.M. Beketov NUUE
DREVAL I.	Dr.Sc., O.M. Beketov NUUE
DUSHKIN S.	Dr.Sc., O.M. Beketov NUUE
KONDRASHENKO O.	Dr.Sc., O.M. Beketov NUUE
MALYARENKO V.	Dr.Sc., O.M. Beketov NUUE
MYHAYLISHYN O.	Dr.Sc., NUWEE
OSYCHENKO G.	Dr.Sc., O.M. Beketov NUUE
TOVBICH V.	Dr.Sc., KNUCA
FEIRUSHA S.	PhD, Salahaddin University – Erbil, Iraq
HARCHENKO V.	Dr.Sc., O.M. Beketov NUUE
CHECHELNITSKY S.	Dr.Sc., O.M. Beketov NUUE
CHUDNOVSKIY A.	PhD, University of Hamburg, Germany
YURKEVICH I.	PhD, Aston University, United Kingdom
YANKELEVICH M.	PhD, PARSONS, USA

Адреса редакції / Editorial office address:

61002, м. Харків, вул. Чорноглазівська, 17 / 17, Chornoglazivska Street, Kharkiv, 61002

Тел./tel.: +38 (057) 707-33-21, e-mail: khg@kname.edu.ua

ISSN (print) 2522 – 1809

ISSN (online) 2522 – 1817

Затверджений до друку Науково-технічною Радою Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова (протокол № 8 від 28 березня 2025 року)

© ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2025

ЗМІСТ

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>І.С. Караван, О.В. Таранов, В.М. Бредіхін, А.Л. Литвинов, В.І. Вербицька.</i> Нейронні мережі для первинної самодіагностики пацієнтів засобами телемедицини.....	2
<i>А.Л. Литвинов, В.М. Бредіхін, Д.В. Дегтяр.</i> Моделювання вузла комутації мережі передачі даних з комутацією паткетів	8

МЕХАНІЧНА ІНЖЕНЕРІЯ

<i>М.Ю. Крайнюк, О.В. Щербак.</i> Застосування інтелектуальних вимірювальних технологій для аналізу експлуатаційних параметрів дорожньо-будівельних машин.....	13
<i>А.В. Русанов, Р.А. Русанов, М.О. Чугай, С.П. Третьак.</i> Модифіковані калоричні рівняння таммана	21
<i>І.В. Держинський, В.О. Стефанов.</i> Дослідження стійкості різних типів баштових кранів та методів для підвищення безпеки експлуатації.....	32

ЕЛЕКТРИЧНА ІНЖЕНЕРІЯ

<i>А.В. Гордієнко.</i> Аналіз ізоляційних систем електродвигунів головних циркуляційних насосів ВВЕР-1000 з метою її модернізації та удосконалення.....	43
<i>Кульбашна Н.І., Лукашова Н.П., Далека В.Х., Скуріхін В.І.</i> Шляхи підвищення енергоефективності електробусів за рахунок сучасних фотоелектричних технологій.	52

ВИРОБНИЦТВО ТА ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Т.К. Макарова, А.Є. Бараннік, А.В. Макаров.</i> Якість питної води та удосконалення технології водопідготовки у Самарському районі Дніпропетровської області	61
<i>С.Ю. Шара, І.В. Ткаченко.</i> ГІС-моніторинг поверхневих вод басейну Дніпра	70

АРХІТЕКТУРА ТА БУДІВНИЦТВО

<i>Лян Цзінвен.</i> Використання технології штучного інтелекту в проектуванні архітектурного середовища будинку для людей похилого віку	80
<i>Н.С. Вергунова.</i> Термінологічні конотації візіонерської архітектури. Утопічність, фантастичність та футуристичність	86
<i>М.П. Тімашков.</i> Біомімікрія як метод адаптації у формуванні архітектурного середовища	92
<i>Н.І. Криворучко, Є.С. Чабан.</i> Архітектурно-урбаністична стратегія формування глемпінгів як системи екотуризму	100
<i>В.В. Масленнікова, О.Б. Гопцій.</i> Інтеграція сучасних енергетичних систем в «зеленій архітектурі».....	113
<i>А.С. Борисенко, Бушра Наїлі, Ріда Хдідуш.</i> Дизайн та функціональна організація багатофункціональний просторів в курортних готелях класу люкс.....	120
<i>Проценко Д.В., Блінова М.Ю.</i> Екодизайн як спосіб відродження постіндустріальних міських ландшафтів: світові підходи та можливості для України.....	129

<i>А.С. Борисенко, Мехді Масрар, Ріхаб Ел Ахал.</i> Криза доступу до сучасних освітніх комплексів: виявлення прогалин.....	139
<i>А.С. Борисенко, А. Рхузладі, М. Марабіх, Б. Камар.</i> Медична архітектура в Марокко: поєднання теорії та практики.....	150
<i>А.С. Борисенко, Хамза Захід, Яхья Феттан, Бадр Еддін Заабул.</i> Збереження приватності для мешканців багатофункціональної будівлі за допомогою архітектурних засобів.....	157
<i>А.С. Борисенко, Саммі Салах, Шімаа Бібіш Мавахєб, Яссер Ель Хаммуті, Маруан Ежрауї.</i> Привабливі якості громадянських споруд у сприйнятті відвідувачів.....	165
<i>Н.В. Гатальська.</i> Значення базових ознак комфорту у процесі естетичного сприйняття паркового середовища.....	171
<i>М.А. Вотінов, О.В. Смірнова.</i> Стратегії формування рекреаційних центрів як об'єктів екоорієнтованої архітектури.....	181
<i>М.О. Михіденко.</i> Принцип гармонізації у просторовому плануванні сільських територій Київської приміської зони.....	187
<i>О.О. Калмиков, К.О. Бінкевич Є.О. Паша.</i> Особливості розрахунку плит перекриття при їх підсиленні шляхом нарощування стиснутої зони.....	193
<i>В.Г. Усенко, О.В. Черніков, І.С. Усенко, Д.В. Усенко.</i> Оптимізація надійності технічної системи з урахуванням мінімізації ресурсів.....	203
<i>Ю.В. Максим'юк, О.В. Авдійчук, Д.В. Лук'ячук.</i> Моделювання динамічних систем у проєктуванні механічних конструкцій для промисловості.....	209
<i>М.О. Куницький.</i> Використання теплових насосів у комбінованій системі опалення для міської інфраструктури.....	217
<i>В.В. Рюмін, Ю.Ю. Солодовник.</i> Дослідження Т-подібних компонентів у вузлових з'єднаннях балки з колоною: проведення повного факторного експерименту	225
<i>О.О. Алексахін, О.В. Бобловський, О.В. Круглякова, М.К. Руднєва.</i> Порівняння схем приєднання підігрівників гарячої води для теплових пунктів утеплених будівель.....	233
<i>О.А. Кравчук.</i> Розрахунок необхідної інтенсивності перфорації бічної поверхні розподільчих дренажних трубопроводів.....	238
<i>С.В. Лукашенко, О.А. Сироватський, А.С. Карагяур.</i> Застосування еластичного пінополіуретану для очищення стічних вод м'ясної промисловості.....	243
<i>А.В. Набока, Д.Г. Петренко.</i> Дослідження напружено-деформованого стану монолітної залізобетонної причальної стінки.....	252
<i>С.В. Бутнік, М.Д. Почапський.</i> Аналіз нормативної трудомісткості зведення збірно-монолітних конструкцій.....	258
<i>Є.М. Малий.</i> Перспективи розробки та інтеграції магnezіальних в'язучих матеріалів у сучасні будівельні технології.....	266
<i>М.О. Пілічева, А.А. Данилюк.</i> Аналіз геодезичних методів та даних дистанційного зондування для формування картографічного забезпечення містобудівної документації.....	271

<i>К. А. Мамонов, В.В. Гой, Р.С. В'яткін.</i> Стан ринку нерухомості у сучасних умовах: аналіз трансформаційних процесів.....	280
<i>К.А. Мамонов, В.В. Гой, Р.С. В'яткін.</i> Математичне моделювання впливу рівня нормативної грошової оцінки земель на індекс змін показника відношення площі регіонів до чисельності населення за регіонами.....	285
<i>К.А. Мамонов, В.В. Гой, Р.С. В'яткін, В.К. Мамонов.</i> Характеристика математичних методів і моделей для аналізу ринку нерухомості	291
<i>К.А. Мамонов, В.В. Гой, Р.С. В'яткін, А.Г. Тищенко.</i> Математичне моделювання як інструментарій, що застосовується для аналізу ринку нерухомості.....	296
<i>К.А. Мамонов, В.В. Гой, Р.С. В'яткін, А. Г. Тищенко.</i> Аналіз ринку нерухомості в умовах агресії РФ.....	301
<i>К.А. Мамонов, Е.С. Штерндок, В.В. Касьянов, А.Ю. Паламар.</i> Сучасні методи землевпорядкування проектування в землеустрою для просторового розвитку територіальних громад.....	307
<i>М.О. Пілічева, С.С. Домарева.</i> Порівняльний аналіз кадастрових систем України та Швейцарії.....	313
<i>В.Б. Таргонська, О.О. Мусієнко, О.В. Афанасьєв.</i> Автоматизоване картографування в землеустрої.....	320
<i>К.А. Мамонов, В.С. Ковальчук, В.Р. Ткачук, Д.О. Ковальов.</i> Формування сценаріїв забезпечення територіального розвитку використання земель регіонів.....	325
<i>К.А. Мамонов, Р.С. В'яткін, Т.М. Чайка.</i> Визначення геопросторового забезпечення використання земель промисловості на регіональному рівні.....	331
<i>С.Г. Нестеренко, О.В. Байструк, І.О. Демочко.</i> Геодезичне забезпечення виявлення та формування обмежень земель історико-культурного призначення.....	339
<i>О.Л. Пальченко.</i> Аналіз біологічних характеристик турбіни Френсіса, модернізованої модульною направляючою лопаткою.....	345

ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА

<i>П.О. Іллюченко, В.В. Ніжник.</i> Експериментальні дослідження зі встановлення закономірності зниження температури трансформаторного масла внаслідок проходження теплообмінником.....	352
<i>Абрамов Ю.О., Кривцова В.І., Михайлюк А.О.</i> Вибір моделей газогенератора системи зберігання та подачі водню для реалізації опції його контролю.....	362
<i>Е.Е. Щолоков, Н.В. Рашкевич, Р.І. Майборода, Ю.А. Отрош.</i> Удосконалення системи оповіщення та евакуація дітей з порушенням слуху у закладах освіти.....	368
<i>Д.В. Середа, Я.В. Балло.</i> Методика дослідження поширення пожежі від вітрової електроустановки до суміжних об'єктів.....	377
<i>Ю.О. Абрамов, В.С. Коломієць, В.О. Собина.</i> Визначення часу гасіння пожежі класу В системою управління пожежогасінням розпиляною водою на базі сігвею.....	384
<i>В.В. Ковалишин, Н.Р. Великий.</i> Дослідження підшарового гасіння пожеж компресійною піною в резервуарах з нафтопродуктами	390
<i>Я.О. Серіков.</i> Стан, проблеми, шляхи зниження травматизму на підприємствах житлово-комунального господарства України	398
<i>Є.О. Михайлова, О.Ф. Протасенко, М.О. Мороз, Д.М. Дейнека.</i> Аналіз хімічних небезпек і попередження їхнього впливу на працівників поліграфічного	

виробництва	404
<i>О.І. Вальченко, С.О. Степанчук, В.В. Стрілець, Р.І. Шевченко, Є.О. Макаров.</i>	
Оцінка ефективності підготовки до гуманітарного розмінування радіаційно-забрудненої місцевості із застосуванням нормативів.....	410
<i>А. Гаврись, Р. Веселівський, О. Пекарська, О. Любовецький, В. Філіпова.</i>	
Система підтримки прийняття управлінських рішень керівниками ліквідації надзвичайних ситуацій гідрологічного походження з використанням геоінформаційних технологій.....	416
<i>Б.М. Цимбал, П.В. Свіржевський.</i> Дослідження рівня безпеки та оцінка ризиків робіт для особистого догляду.....	
<i>К.В. Данова, В.В. Малишева, Л.С. Колибельнікова, Г.Г. Соболева.</i> Застосування SWOT-аналізу при формуванні системи управління ментальним здоров'ям персоналу.....	
	441
ТРАНСПОРТ	
<i>М.П. Булгаков, О.М. Мельник, В.Б. Терновський.</i> Етапи впровадження альтернативного палива та екоінновацій у морському транспорті	
	447
<i>В.В. Воронько, А.С. Галкін, Ю.О. Давідіч, Д.П. Понкратов, М.Д. Швець.</i> Визначення показників якості е-карго байків в логістичних системах з урахуванням суб'єктивної оцінки водіїв	
	455
<i>В.М. Нефьодов, О.С. Черпаха.</i> Побудова регресійної моделі системи автомобільних перевезень соняшникової олії у напрямку Одеса-Івано-Франківськ.....	
	464
<i>О.В. Павленко, А.Г. Бойко.</i> Модель функціонування технології доставки запасних частин транспортно-логістичним центром на умовах кластерізації	
	469
<i>О.П. Калініченко, В.В. Севідова.</i> Визначення кількості транспортних засобів при крос-докінгу в умовах невизначеності та обмеженості реурсів.....	
	475
<i>С.Е. Лифенко, Д.П. Понкратов.</i> Екологічний аспект оцінки сталості міської транспортної системи.....	
	482
<i>О.В. Прасоленко, В.А. Чумаченко.</i> Дослідження закономірностей зміни смуги руху з урахуванням функціонального стану водія.....	
	492
<i>М.Г. Сур'янінов, В.М. Сур'янінов.</i> Розрахунок циліндричного колодязя чисельно-аналітичним методом граничних елементів.....	
	498
<i>С.В. Романенко.</i> Методика вибору альтернативних джерел енергії при теплоенергетичній реновації будинків.....	
	503

CONTENTS

INFORMATION TECHNOLOGY

- I. Karavan, O. Taranov, V. Bredikhin, A. Lytvynov, V. Verbytska.* Research of the process of visual art transmission in music and creation of collections for people with visual impairments..... 2
- A. Litvinov, V. Bredikhin, D. Degtyar.* Switching node modelling of a packet-switched data transmission network..... 8

MECHANICAL ENGINEERING

- M. Krainiuk, O. Shcherbak.* Application of intelligent measurement technologies for the analysis of operational parameters of road construction machinery..... 13
- A.V. Rusanov, R.A. Rusanov, M.O. Chugay, S.P. Tretiak.* Modified caloric equations of state based on the thermal tammann equation..... 21
- I. Dzerzhynskiy, V. Stefanov.* Exploring the stability of tower cranes and methods for improving their operational safety..... 32

ELECTRICAL ENGINEERING

- A.Hordiienko.* Analysis of insulation systems of electric motors of main circulation pumps VVER-1000 with the purpose of its modernization and improvement..... 43
- N. Kulbashna, N. Lukashova, V. Daleka, V. Skurikhin.* Ways to improve the energy efficiency of electric buses using modern photovoltaic technologies..... 52

PRODUCTION AND TECHNOLOGY

- T.K. Makarova, A.E. Barannik, A.V. Makarov.* Drinking water quality and improvement of water preparation technology in the Samariv district of the Dnipropetrov region 61
- S. Shara, I. Tkachenko.* Factor analysis of the state of surface waters in the Dniro basin 70

DESIGN AND ARCHITECTURE

- Lyan Jinveng.* Artificial intelligence technology in designing the architectural environment of the nursing home..... 80
- N. Vergunova.* Terminological connotations of visionary architecture. Utopian, fantastic and futuristic 86
- M.P. Timashkov.* Biomimicry as a method of adaptation in the formation of the architectural environment..... 92
- N.I. Kryvoruchko, Y.S. Chaban.* Architectural and urban strategy for developing glampings as ecotourism systems 100
- V. Maslennikova, O. Goptsiy.* Integration of modern energy systems in “green architecture”..... 113
- A.S. Borysenko, Bouchra Naili, Rida Hdidouch.* The design and functional organization of multi-purpose spaces in luxury resort hotels..... 120
- Protsenko D., Blinova M.* Ecodesign as a means of revitalizing porst-industrial urban lanscapes: global approaches and opportunities for Ukraine..... 129
- A.S. Borysenko, Mehdi Masrar, Rihabe El Akhal.* Crisis of access to modern educational complexes: exposing the gaps..... 139

A.S. Borysenko, A. Rhouladi, M. Morabih, B. Kamar.. The architecture of medicine in Morocco: bridging theory and practice.....	150
A.S. Borysenko, Hamza Zahid, Yahya Fettan, Badr Eddine Zoahul. Maintaining privacy as a resident in a mixed-use building through architectural means.....	157
A.S. Borysenko, Salmi Salah, Chimaa Bibich Mawaheb, Yesser El Hammouti, Marouan Ezhraui. Attractive qualities of public buildings in visitor's perception	165
N.V. Gatal'ska. The significance of basic comfort features in the aesthetic perception of park environments.....	171
M. Votinov, O. Smirnova. Strategies of forming recreation centers as objects of eco-oriented architecture.....	181
M.O. Mykhidenko. The principle of harmonization in spatial planning of rural areas of the Kyiv suburban.....	187
O. Kalmykov, K. Binkevych, E. Pasha. The specifics of the calculation of the floor slabs when reinforcing them by increasing the compressed zone.....	193
V. Usenko, O. Chernikov, I. Usenko, D. Usenko. Optimization of technical system reliability taking into account resource minimization.....	203
Y. Maksymiuk, O.A. Avdiichuk, D. Lukianchuk. Modeling of dynamic systems in the design of mechanical structures for industry.....	209
M.O. Kunytskyi. The use of heat pumps in combined heating systems for urban infrastructure.....	217
V. Riumin, Yu. Solodovnyk. Study of T-stub components of a beam to column joint: a full factorial experiment.....	225
O. Aleksakhin, O. Boblovskyi, O. Kruhliakova, M. Rudneva. Comparison of hot water heater connection schemes for district heating stations in insulated buildings.....	233
O. Kravchuk. Calculation of the required perforation intensity for the lateral surface of distribution drainage pipelines.....	238
S. Lukashenko, O. Syrovatskyi, A. Karahiaur. Application of elastic foampolyurethane for the treatment of meat industry wastewater.....	243
A. Naboka, D. Petrenko. Study of the stress-strain state of a monolithic reinforced concrete quay wall.....	252
S. Butnik, M. Pochapskyi. Analysis of normative labor consistence of strength-monolith structures.....	258
Ye. Malyi. Prospects for the development and integration of magnesium binding materials into modern building technologie.....	266
M. Pilicheva, A. Danyliuk. Analysis of geodesic methods and remote sensing data for forming cartographic support for urban planning documentation.....	271
K. Mamonov, V.Goi, R.Viatkin. State of the real estate market in current conditions: analysis of transformation processes.....	280
K. Mamonov, V.Goi, R. Viatkin. Mathematical modeling of the impact of the level of the normative monetary validation of land on the index of changes in the rate of the area of regions to the population by region.....	285
K. Mamonov, V. Goi, R. Viatkin, V. Mamonov. Characteristics of mathematical methods and models for real estate market analysis.....	291
K. Mamonov, V. Goi, R. Viatkin, A. Tishchenko. Mathematical modeling as a tool used for real estate market analysis.....	296

<i>K. Mamonov, V. Goi, R. Viatkin, A. Tishchenko.</i> Analysis of the real estate market in the conditions of Russian aggression.....	301
<i>K. Mamonov, E. Shterndok, V. Kasynov, A. Palamar.</i> Modern methods of land management design in land management for spatial development of territorial communities.....	307
<i>M. Pilicheva, S. Domareva.</i> Conceptual provisions for the formation of the cadastre of intellectual resources as part of the center for the processing of cadastral and other additional information.....	313
<i>V. Targonska, O. Musienko, O. Afanasiev.</i> Automated mapping in land management..	320
<i>K. Mamonov, V. Kovalchuk, V. Tkachuk, D. Kovalev.</i> Formation of scenarios to ensure territorial development of land use of regions.....	325
<i>K. Mamonov, R. Viatkin, T. Chaika.</i> Definition of geospatial provision of land use the regional level.....	331
<i>S. Nesterenko, O. Baistruk, I. Demochko.</i> Geodetic support for the identification and formation of land restrictions for historical and cultural purposes.....	339
<i>O. Palchenko.</i> Analysis of the biological characteristics of a Francis turbine modernized with a modular guide vane.....	345

CIVIL SECURITY

<i>P. Illiuchenko, V. Niznyk.</i> Experimental study on the temperature reduction patterns of transformer oil passing through a heat exchanger.....	352
<i>Abramov Yu., Kryvtsova V., Mykhailiuk A.</i> Models of the gas generator of the hydrogen storage and supply system for implementation of the its control optiony.....	362
<i>E. Shcholokov, N. Rashkevich, R. Maiboroda, Yu. Otrosh.</i> Improvement of the notification and evacuation system for children with hearing impairments in educational institutions.....	368
<i>D.V. Sereda, Y. V. Ballo.</i> Fire spread investigation methodology from a wind power plant to adjacent objects	377
<i>Y. Abramov, V. Kolomiiets, V. Sobynta.</i> Determining the extinguishing time of a class B fire using a segway-based water spray fire extinguishing control system.....	384
<i>V. Kovalyshyn, N. Velykyi.</i> Research on subsurface fire suppression using compression foam in tanks with petroleum products	390
<i>Ya. Serikov.</i> State, problems, ways to reduce the production level injuries in the industry of housing and utilities in Ukraine.....	398
<i>E. Mykhailova, O. Protasenko, M. Moroz, D. Deineka.</i> Chemical hazards analysis and prevention of their impact on printing industry employees.....	404
<i>O. Valchenko, S. Stepanchuk, V. Streles, R. Shevchenko, Y. Makarov.</i> Evaluation of training effectiveness for humanitarian demining of radiation-contaminated areas with the application of standard.....	410
<i>A. Havrys, R. Veselivsky, O. Pekarska, O. Liubovetskyi, V. Fillipova.</i> Support system for management decision-making by heads of hydrological emergency situations liquidation using geo-information technologies.....	416
<i>B. Tsymbal, P. Svirzhevskyi.</i> Safety level research and risk assessment of personal care works	428

<i>K. Danova, V. Malysheva, L. Kolibelnikova, H. Sobolieva. Application of SWOT analysis in forming a staff mental health management system.....</i>	441
--	-----

T R A N S P O R T

<i>M. Bulgakov, O. Melnyk, V. Ternovsky. Stages of alternative fuels and eco-innovation in maritime</i>	447
<i>V. Voronko, A. Galkin, Y. Davidich, D. Ponkratov, M. Shvets. Determination of the quality indicator of e-cargo bikes in logistics systems taking into account the subjective assessment of drivers.....</i>	455
<i>V. Nefyodov, O. Cherepakha. The regression model construction of the sunflower oil road transportation system in the Odesa-Ivano-Frankivsk direction.....</i>	464
<i>O. Pavlenko, A. Boyko. Model of functioning of the technology of delivery of spare parts by a transport and logistics center on the basis of clustering.....</i>	469
<i>O. Kalinichenko, V. Sevidova. Determining the number of vehicles for cross-docking in conditions of uncertainty and limited resources.....</i>	475
<i>S. Lyfenko, D. Ponkratov. Environmental aspect of urban transport system sustainability assessment</i>	482
<i>O. Prasolenko, V. Chumachenko. Research of lane change patterns taking into account of the driver's functional state.....</i>	492
<i>M. Surianinov, V. Surianinov. Calculation of a cylindrical well by the numerical-analytical boundary element method.....</i>	498
<i>S. Romanenko. Methodology for selecting alternative energy sources in thermal energy renovation of buildings.....</i>	503

ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДШАРОВОГО ГАСІННЯ ПОЖЕЖ КОМПРЕСІЙНОЮ ПІНОЮ В РЕЗЕРВУАРАХ З НАФТОПРОДУКТАМИ

Стаття присвячена дослідженню ефективності «підшарового» гасіння пожеж у резервуарах із горючими рідинами за допомогою компресійної піни. У дослідженні застосовувалась спеціально розроблена експериментальна установка, яка дозволяє генерувати та подавати компресійну піну безпосередньо під шар пального.

Ключові слова: «підшарове» гасіння, компресійна піна, резервуар з нафтопродуктом, піна низької кратності.

Постановка проблеми

Гасіння пожеж у резервуарах із нафтопродуктами є одним із найскладніших завдань для пожежно-рятувальних служб. Такі пожежі супроводжуються значними матеріальними збитками, екологічними наслідками та загрозою для життя людей [1]. Зважаючи на масштаби пожеж на об'єктах нафтової промисловості та військові дії, що включають обстріли об'єктів нафтової інфраструктури, розробка ефективних засобів і методів гасіння стає критично важливою. Оперативні дії на таких пожежах організовуються відповідно до вимог нормативних актів з врахуванням особливостей обстановки в конкретний час на місці події та максимально можливим дотриманням заходів безпеки для пожежно-рятувальних підрозділів [2]. Застосування повітряно-механічної піни, часто виявляється неефективним через тривалість гасіння, необхідність великих об'ємів ресурсів і складність проникнення вогнегасних речовин у зону горіння. Одним із перспективних способів є використання компресійної піни, яка має високу стійкість і низьку кратність, а також можливість подавання «підшаровим» способом. «Підшаровий» спосіб гасіння має певну перевагу над традиційним, де піну подають знизу: вся подана піна потрапляє в резервуар (не впливають вітер і теплові потоки); особовий склад не піддається зайвим ризикам при гасінні. Це допомагає забезпечити безпеку піногенераторів та пінопроводів від вибухів парових сумішей. При використанні системи «підшарового» гасіння, піна низької кратності подається безпосередньо під шар нафтопродукту через пінопровід системи пожежогасіння, що розташований у нижній частині резервуара, за допомогою пересувної пожежної техніки.

З початком виробництва плівкоутворювальних ПУ з'явилась перспектива в освоєнні «підшарового» способу гасіння пожеж в резервуарах із подаванням піни безпосередньо в шар пального. Дослідження такого способу гасіння розпочались у США у 1972 році, пізніше до досліджень у цій галузі приєдналися Велика Британія та багато інших країн, в тому числі і Україна [3].

В Україні перша система "підшарового" пожежогасіння була введена в експлуатацію на нафтоперекачувальній станції (НПС) "Кременчук" ДАТ "Придніпровські магістральні нафтопроводи" для захисту резервуарів з нафтою об'ємом 10 000 м³. Розробку системи провели фахівці ВАТ "Інститут транспорту нафти". У цій системі використана передова на той час автоматизована система дозування ПУ, з використанням резервуарів з еластичним балоном та дозаторів широкого діапазону виробництва компанії "SvenskaSkum" [1].

Система автоматизації, яка введена в експлуатацію на об'єкті, передбачає:

- організацію централізованого контролю і керування процесом пінного пожежогасіння з місцевого диспетчерського пункту;
- підвищення ефективності експлуатації системи і скорочення матеріальних збитків під час пожежі завдяки оперативності надання інформації і організації автоматичного пожежогасіння;
- збільшення термінів періодичності обслуговування і скорочення термінів проведення ремонтних робіт технічних засобів автоматичної системи пожежогасіння.

Введена в експлуатацію автоматизована система забезпечує повну автоматизацію процесу збирання інформації, а також вирішення завдань контролю та управління процесом пінного гасіння пожежі на об'єктах НПС "Кременчук". Система успішно пройшла випробування і була введена в експлуатацію [1].

Основні переваги компресійної піни [4]:

- утворення піни відбувається безпосередньо за насосною установкою, що дає змогу зменшити енергетичні затрати на її доставку до місця пожежі;
- компресійну піну можна подавати на значні відстані, навіть по вертикалі (до 400 м);
- компресійна піна є високоструктурованою, компактною та складається з великої кількості однорідних одиночних пухирців. Відношення маси до поверхні є сприятливим для інтенсивної теплопередачі, що призводить до значного ефекту охолодження нагрітої поверхні;
- оскільки компресійна піна утворюється за допомогою повітря під тиском, то додатково отримує від нього енергію, потрібну для доставки її безпосередньо в осередок пожежі. При цьому, на відміну від води, не відбувається випаровування малих крапель на етапі доставки струменя в осередок пожежі, що значно підвищує коефіцієнт використання вогнегасної речовини;
- пожежні рукави, заповнені компресійною піною, значно легші, а отже, підвищується маневреність ствольника;
- компресійна піна може мати як підвищений склад рідкої фази, що підсилює ефект охолодження, так і понижений склад рідкої фази, що веде до підсилення адгезії та дає змогу використовувати її для вогнезахисту вертикальних поверхонь та гасіння електрообладнання під напругою;
- понижений склад рідкої фази зменшує прямі збитки під час гасіння пожеж у поверхових будівлях та на горищах через уникнення затоплення нижчих поверхів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У своїй роботі [5] автори згадують про високу вартість систем CAFS (compressed air foam system), хоча вони не наводять детального аналізу економічної ефективності їх використання порівняно з іншими способами пожежогасіння. Дослідження у роботі [6] зосереджені на властивостях компресійної піни та технологічних аспектах її генерування, однак не була розглянута поведінка піни у середовищі нафтопродуктів. У статті [7] описано функціонально-фізичну схему для генерування компресійної піни та запропоновані лише теоретичні підходи, відсутні результати експериментального тестування запропонованої установки. У роботі [8] також досліджувалася компресійна піна, зокрема її стисливість. Проте це дослідження потребує подальшого підтвердження та розширення, оскільки відсутня достатня інформація про порівняння з іншими типами піни за різних умов стиску. Крім того, постає питання щодо калібрування і надійності обладнання, розробленого

спеціально для цього експерименту, а також його співставлення з існуючими приладами та методиками. У [9] науковці досліджували ефективність системи гасіння пожеж компресійною піною (CAFS) при різних співвідношеннях повітря та робочого розчину піноутворювача (1:4, 1:7, 1:10). Експерименти показали, що оптимальне співвідношення для плівкоутворювального піноутворювача (AFFF) становить 1:7, що забезпечило найшвидше гасіння (30 секунд). Система зменшила витрати води до 90% в порівнянні з традиційними методами, а також показала екологічну та економічну ефективність. Однак у статті був проаналізований лише короткостроковий ефект (до 5 хв) стійкості піни, варто дослідити, як тривале зберігання піни в резервуарі вплине на її стійкість. Модель гасіння нафтопродуктів компресійною плівкоутворювальною піною, яка може застосовуватись для гасіння пожеж в резервуарах, досліджувалась у роботі [10], але питання, які пов'язані з подачею компресійної піни під шар нафтопродукту, що горить, залишилися невирішеними. У дослідженні [11] аналізувалися параметри кратності компресійної піни та досліджувався вплив рідин (вода, бензин, дизель) на її руйнування при подаванні під шар палива та на поверхню. Піна продемонструвала хороші показники кратності і стійкості, а отримані дані підтвердили можливість застосування цього типу піни для «підшарового» гасіння.

Мета та завдання статті

Метою дослідження є визначення ефективності «підшарового» гасіння резервуарів з нафтопродуктами за допомогою компресійної піни в полігонних умовах на прикладі макетного резервуара об'ємом 0,25м³.

Для досягнення поставленої мети потребують вирішення наступні завдання:

1. Розробити експериментальну установку для генерування компресійної піни та провести «підшарове» гасіння пожежі нафтопродукту в макетному резервуарі за допомогою компресійної піни, визначити ефективність такого гасіння та встановити основні вогнегасні характеристики компресійної піни.

2. Дослідити вплив кратності компресійної піни на ефективність «підшарового» гасіння пожежі бензину в резервуарі за допомогою моделювання в програмному продукті SolidWorks Flow Simulations, а також визначити оптимальні параметри подавання піни для зниження часу гасіння та економічної ефективності.

Виклад основного матеріалу

Основою для проведення дослідження з «підшарового» гасіння пожежі в макетному резервуарі стала самостійно розроблена установка для генерування компресійної піни (рис. 1) яка передбачає:

- зберігання робочого розчину піноутворювача;
- подавання робочого розчину піноутворювача в камеру змішування за допомогою повітря;
- перемішування робочого розчину піноутворювача з повітрям в камері змішування та утворення компресійної піни;
- регулювання тиску у балонах з повітрям;
- подавання готової компресійної піни на гасіння.

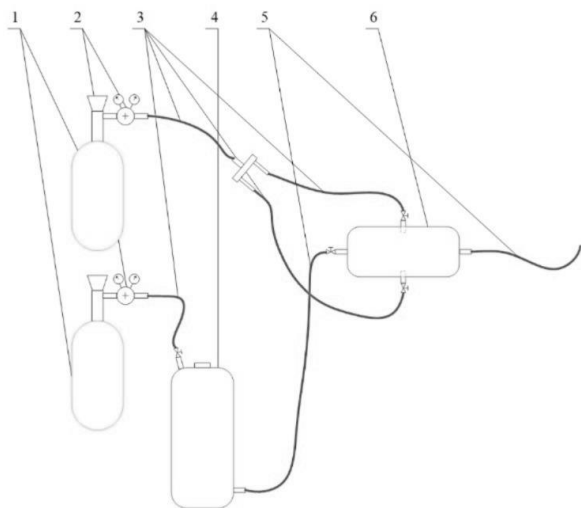


Рис. 1. Установка для генерування компресійної піни: 1) балон з повітрям; 2) редуктор з манометрами високого та середнього тиску; 3) шланги для подавання повітря $\varnothing 10$ мм; 4) ємність (типу вогнегасника) з робочим розчином піноутворювача ($V = 12 \text{ дм}^3$); 5) шланги для подавання робочого розчину/піни; 6) камера змішування робочого розчину із повітрям.

Важливу увагу приділяли герметичності всіх з'єднань та калібруванню клапанів для забезпечення стабільної роботи системи. Основним елементом установки є камера змішування, в якій відбувався процес генерування компресійної піни. Повітря в камеру змішування потрапляло через 2 вмонтовані штуцери, до яких прикріплені шланги високого тиску $\varnothing 10$ мм, які забезпечували необхідний об'єм повітря:

- для змішування з робочим розчином піноутворювача та утворення компресійної піни;
- для подавання компресійної піни до резервуару на гасіння.

Загальний вигляд камери змішування можна побачити на рис. 2.

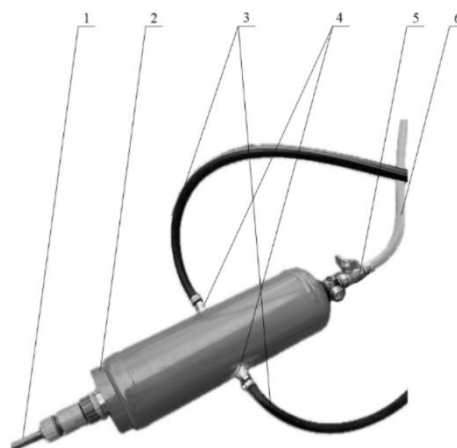


Рис. 2. Загальний вигляд камери змішування: 1) шланг для подавання готової компресійної піни; 2) камера змішування; 3) міцні шланги для подавання повітря; 4) штуцери для подавання повітря в середину камери змішування; 5) перекидний кран; 6) шланг для подавання робочого розчину в камеру змішування.

Камера змішування виготовлена з корпусу вогнегасника об'ємом 3 дм^3 . Цього достатньо щоб генерувати необхідну кількість компресійної піни на гасіння макетного резервуара. Для генерування компресійної піни було використано піноутворювач підвищеної стійкості «Барс S-2». Як горючу речовину використовували бензин у кількості 100 літрів, який заливався безпосередньо в резервуар перед початком експерименту. Перед кожним експериментом система наповнювалася 12 дм^3 6% розчину піноутворювача. Для забезпечення безпеки експерименту резервуар з бензином встановлювався на відкритому майданчику. Також для експерименту було використано:

- ваги з межею зважування 10 кг з ціною поділки 0,005 кг;
- манометр згідно з ДСТУ 7224:2011 з верхньою межею вимірювання 1 МПа і ціною поділки 0,01 МПа;
- термометр згідно з ДСТУ OIML R 133:2019 з діапазоном вимірювання від 0 до 100°C і ціною поділки 1°C ;
- циліндр 1-500 згідно з ДСТУ ISO 1042:2005 з ціною поділки 10 см^3 ;
- секундомір з межею вимірювання 3600 с і ціною поділки 0,2 с.

Всього було проведено три експерименти з «підшарового» подавання компресійної піни. Перед початком кожного експерименту готували 12 дм³ робочого розчину піноутворювача та виливали у ємність типу вогнегасника (рис. 1) для зберігання робочого розчину. Після чого ємність герметично закривали та приєднували до балону із стиснутим повітрям та до камери змішування. Цей балон із стиснутим повітрям використовувався тільки для виштовхування робочого розчину піноутворювача з ємності для зберігання до камери змішування через гнучкі шланги. Утворення компресійної піни відбувалося в камері змішування, яка мала окреме джерело повітря. Перед початком дослідження установка для генерування компресійної піни була під'єднана до дна макетного резервуара об'ємом 0,25 м³ (рис. 3).

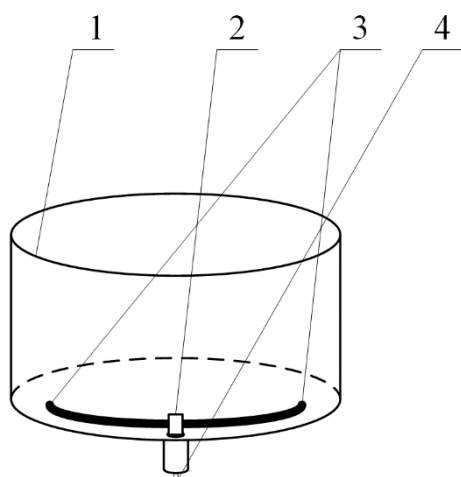


Рис. 3. Загальний вигляд макетного резервуара з розподільчою системою: 1) макетний резервуар ($V = 0,25 \text{ м}^3$); 2) розподільча система для подавання компресійної піни; 3) місце виходу компресійної піни; 4) місце приєднання установки для генерування компресійної піни.

Резервуар виготовлений зі сталі та має форму циліндра з герметичним дном та відкритим дахом. На дні резервуара розташована розподільча системи для подавання компресійної піни, яка забезпечує рівномірний розподіл піни під шаром горючої рідини.

На початку експерименту бензин у резервуарі підпалювався відкритим полум'ям. Висота полум'я досягала 2-3 розмірів резервуара. Через 60 секунд після початку горіння подавалась компресійна піна.

Піна подавалась під шар горючої рідини через систему, змонтовану на дні резервуара. Завдяки дії повітря в камері змішування утворювалась компресійна піна з низькою кратністю, яка

рівномірно розподілялася по поверхні горючої рідини. Час гасіння фіксувався секундоміром, починаючи з моменту початку подавання піни і до повного припинення горіння. Додатково проводився візуальний контроль покриття дзеркала горіння піною після гасіння.

Особлива увага приділялась стійкості піни після припинення її подавання. Витрати розчину обчислювались шляхом вимірювання залишків після кожного експерименту. Це дозволяло оцінити ефективність системи у витратах ресурсів. У результаті проведених експериментів було отримано дані про ефективність «підшарового» гасіння бензину у макетному резервуарі за допомогою компресійної піни. У табл. 1 узагальнені основні результати досліджень.

Таблиця 1
Результати «підшарового» гасіння бензину компресійною піною

№ Досліду	Об'єм розчину, дм ³	Використано розчину, дм ³	Кратність	Тиск подавання, МПа	Час гасіння, с
1	12	3,1	10,7	4	56
2	12	2,9	10,3	4	52
3	12	3,2	10,8	4	57

Компресійна піна продемонструвала здатність ефективно ізолювати дзеркало горіння бензину. Час гасіння становив від 52 до 57 секунд залежно від експерименту. Це вказує на стабільну ефективність «підшарового» способу гасіння, який забезпечує швидке припинення горіння завдяки створенню непроникного шару піни. Система дозволила досягти ефективного гасіння при використанні лише 2,9–3,2 літра розчину піноутворювача. Це свідчить про економічну доцільність компресійної піни, оскільки її низька кратність забезпечує щільний і стабільний шар на поверхні горючої рідини. Кратність компресійної піни становила 10,3–10,8. Завдяки цьому піна утворює густий і щільний шар, який ізолює поверхню горючої рідини та перешкоджає випаровуванню парів. Це критично важливо для запобігання повторному займанню та ефективного контролю над горінням. Використання тиску 4 МПа забезпечило рівномірний розподіл піни по поверхні бензину. Це дозволило значно зменшити час гасіння та знизити втрати горючої рідини під час пожежі. Тиск подавання виявився достатнім для створення стабільної компресійної піни. Після припинення подавання піни, її шар утримувався на поверхні бензину протягом тривалого часу, ефективно перешкоджаючи випаровуванню горючих парів. Це підтверджує здатність компресійної піни створювати

довготривалу ізоляцію, необхідну для запобігання повторному займанню.

Для теоретичних досліджень використовувався програмний продукт SolidWorks Flow Simulations. Розрахунки проводились для резервуара об'ємом 5000 м³. Дані для моделювання наближені до результатів дослідження з гасіння пожежі бензину «підшаровим» способом в макетному резервуарі (розділ 5). Розглянуто подавання піни кратністю 10 при тиску 4 МПа. Також, додатково, було проведено аналогічне моделювання для піни кратністю 5 при тиску 4 МПа та проведено порівняння.

Мінімально необхідна інтенсивність подавання піни для «підшарового» гасіння в резервуар становить 28 кг/с, резервуар діаметром 16 м. З врахуванням гідростатичного тиску ця піна подається під тиском 2 МПа на виході із сопла. Збільшивши напір до зростання тиску в 4 МПа, отримаємо 56 кг/с. Тобто таким чином збільшено мінімальну необхідну інтенсивність подавання в 2 рази. Температуру дзеркала горіння прийнято 433 °K (160 °C), в температура бортів резервуара на рівні дзеркала горіння 650 °K (377 °C) [12, 13]. Маса пари від піни яка подається під тиском 2 МПа та виходить на поверхню горіння протягом 5 хвилин приблизно дорівнює 2500 кг. На рис. 4 відображено графічну залежність маси піни кратністю 10 на дзеркалі горіння від часу її подавання та тиску 4 МПа. Як видно піна з кратністю 10 при тиску подавання 4 МПа досягає рівня 2500 кг протягом 180 с. Звідси виходить що, чим більший тиск при подаванні піни, тим швидший і її вихід. Тому температуру дзеркала горіння слід «зменшити» із 160°C до 100°C, що є пропорційно до виходу піни значенням 2500 кг. Також слід збільшити тривалість дослідження моделі після зміни температури, оскільки, як показали дослідження [2], спочатку іде викид пари, а потім, в міру зменшення середньої температури, вже іде піна. Для визначення продуктивності виходу піни на поверхню горіння встановимо часовий проміжок 120 с після виходу піни.

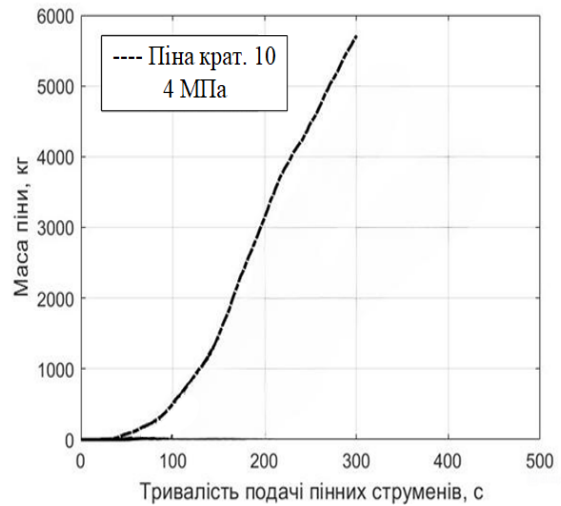


Рис. 4. Графічна залежність маси піни кратністю 10 на дзеркалі горіння від часу її подавання та тиску 4 МПа.

Це ж саме проробимо з піною кратністю 5. На рис. 5 відображено графічну залежність маси піни кратністю 5 на дзеркалі горіння від часу її подавання та тиску 4 МПа.

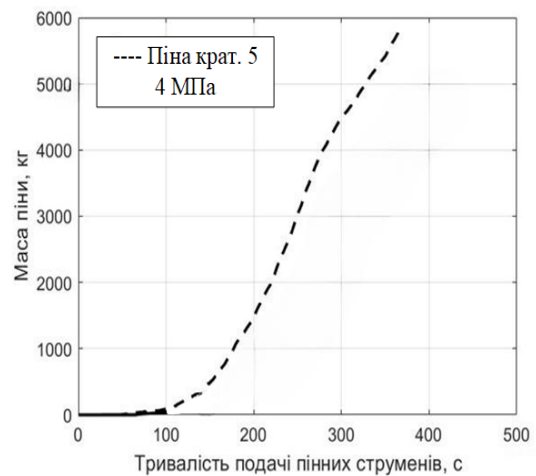


Рис. 5. Графічна залежність маси піни кратністю 5 на дзеркалі горіння від часу її подавання та тиску 4 МПа.

Виходячи з цього, подальші дослідження процесу «підшарового» гасіння проведемо для таких параметрів піни:

- Піна кратністю 10 – 4 МПа 180 с + 120 с;
- Піна кратністю 5 – 4 МПа 245 с + 120 с.

Графічна залежність масових витрат піни кратністю 10 та пари на виході резервуара від часу, при тиску подавання 4 МПа зображена на рис. 6.

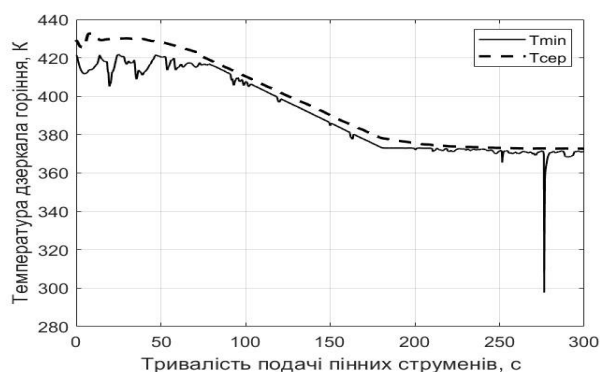


Рис. 6. Температура середовища на дзеркалі горіння при гасінні піною кратністю 10 та при тиску подавання 4 МПа.

Вихід піни кратністю 10 при тиску подавання 4 МПа з 200 с до 300 с (рис. 4) становить:

$$5688 - 3142 = 2546 \text{ кг};$$

Масова витрата піни (Q_m) становить 25,5 кг/с. Об'ємна витрата піни (Q_v) становить 318 $\text{дм}^3/\text{с}$ (0,32 $\text{м}^3/\text{с}$).

Час умовного гасіння (досягнення висоти шару піни 100 мм на дзеркалі, $V=35 \text{ м}^3$) становить: $35/0,32=110 \text{ с}$;

$$\text{Повний час гасіння: } 200 + 110 = 310 \text{ с.}$$

Графічна залежність масових витрат піни кратністю 5 та пари на виході резервуара від часу, при тиску подавання 4 МПа зображена на рис. 7.

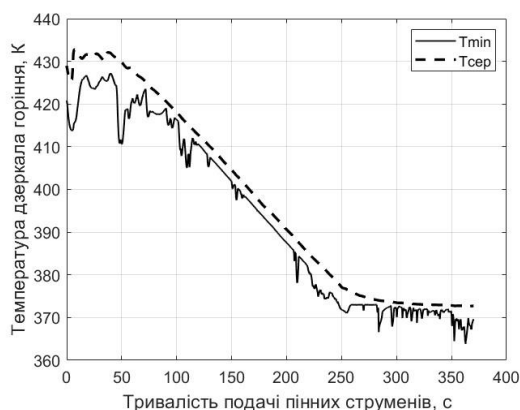


Рис. 7. Температура середовища на дзеркалі горіння при гасінні піною кратністю 5 та при тиску подавання 4 МПа.

Вихід піни кратністю 5 при тиску подавання 4 МПа з 250 с до 370 с (рис. 5) становить:

$$5893 - 3000 = 2893 \text{ кг (K6,25)};$$

Масова витрата піни (Q_m) становить 24,1 кг/с. Об'ємна витрата піни (Q_v) становить 150,7 $\text{дм}^3/\text{с}$ (0,151 $\text{м}^3/\text{с}$).

Час умовного гасіння (досягнення висоти шару піни 100 мм на дзеркалі, $V = 35 \text{ м}^3$) становить: $35/0,151 = 232 \text{ с}$;

Повний час гасіння: $250 + 232 = 482 \text{ с}$.

Отримані внаслідок моделювання результати розміщені в табл. 2.

Таблиця 2

Результати дослідження отримані внаслідок моделювання

Піна	Час подавання до гасіння, с	Витрати піни, кг	Витрати піноутворювача, кг
Кратність 10 4 МПа	310	17360	1389
Кратність 5 4 МПа	482	26992	4319

Згідно проведеного моделювання встановлено, що піна кратністю 5 є менш ефективною в плані часу гасіння пожежі та через значно більші витрати піноутворювача є економічно не вигідною.

Висновки

1. Розроблена експериментальна установка для генерування компресійної піни базується на забезпеченні стабільності та контролю процесу. Використання модифікованого корпусу вогнегасника (3 дм^3) як камери змішування забезпечило ефективне утворення компресійної піни шляхом комбінування робочого розчину піноутворювача зі стисненим повітрям. Основні властивості установки це те, що вона дозволяє одночасне зберігання, генерування та подавання компресійної піни, а також можливість регулювати тиск подавання в залежності від потреб. Герметичність з'єднань мінімізувала втрати робочого розчину, що підтвердилося під час триразового проведення дослідів. Однак для випробувань на промислових масштабах необхідно провести додаткові дослідження та адаптувати установку до гасіння пожеж в резервуарах великої місткості. Дослідження «підшарового» гасіння бензину в макетному резервуарі (250 дм^3) засвідчило високу ефективність компресійної піни з низькою кратністю. Результати підтверджують, що «підшарове» гасіння компресійною піною є перспективною альтернативою традиційним методам. Його основні переваги - економічність, стабільність ізоляційного шару піни та зниження ризиків для пожежних підрозділів, що роблять його особливо актуальним для умов воєнного часу, коли швидкість та ефективність гасіння визначають масштаби катастроф. Середній час гасіння становив

55 с при витраті 3 дм³ розчину піноутворювача, що робить «підшаровий» спосіб економічно вигідним у порівнянні з традиційними способами гасіння. Компресійна піна створює щільний і стійкий шар, який ефективно ізолює дзеркало горіння та обмежує доступ горючих парів в зону горіння і запобігає повторному займання. «Підшарове» гасіння показало стабільні результати в лабораторних умовах. Проте для застосування способу в промислових масштабах потрібні додаткові дослідження з оптимізації системи подавання піни та розрахунку витрат ресурсів. Отримані результати підтверджують, що «підшарове» гасіння компресійною піною є перспективним методом для ліквідації пожеж класу В у резервуарах із горючими рідинами. Даний метод може бути рекомендований для впровадження в пожежно-рятувальні підрозділи та використовуватись у системах автоматизованого гасіння.

2. Відповідно до проведених розрахунків на гасіння резервуару з нафтопродуктом за допомогою піни кратністю 5 було витрачено 4319 кг піноутворювача при тиску в 4 МПа відповідно, що становить у 3 рази більше ніж при використанні піни кратністю 10 (1389 кг при тому самому тиску). Також відрізняється і час гасіння: при подаванні піни кратністю 5, час гасіння становить 482 с при тиску 4 атм, що є на 172 с більше ніж при використанні піни кратністю 10 (310 с при тому самому тиску). Отже, звідси виходить що подавання піни кратністю 5 є менш ефективне в плані часу гасіння пожежі, та через значно більші витрати піноутворювача є економічно не вигідне.

Література

1. Войтович Т.М. Вдосконалення технології «підшарового» пожежогасіння в резервуарах з нафтопродуктами : дис. ... д-ра філософії : 261. Львів, 2020. 216 с. URL: https://ldubgd.edu.ua/sites/default/files/3_nauka/svr/razovi/disertaciya_voytovich_t.m.pdf;
2. Ковалишин, В. В., Великий, Н. Р., Ковалишин, В. В., Войтович, Т. М., Бунь, Р. А., Новіцький, Я. М., & Фірман, В. М. (2024). Розроблення технології гасіння компресійною піною підшаровим способом резервуарів з нафтопродуктами. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(10) (129), 6–20. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.305684>;
3. Kovalyshyn V. V., Vasileva O. E., Koziar N. M. Pinne gasinia (2007). [Foam quenching]. ISBN 978-966-665-473-4. Spolom. Lviv. Ukraine;
4. Титаренко А. В. Газонаповнена піна – ефективний засіб пожежогасіння лісових пожеж. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2015. № 25.9. С. 246-250. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&S21P03=FILA=&S21STR=nvnltnu_2015_25_9_41;

5. Вілінський Р. В. Гаврилюк А. Ф. Аналіз використання компресійної піни. Львівський державний університет безпеки життєдіяльності // Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності: зб. наук. Праць XV Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів. Львів, 2020. С.16-17. URL: <https://sci.ldubgd.edu.ua/bitstream/123456789/6990/1/1-16-46.pdf>;

6. Kodryk, A., Nikulin, O., Titienko, O., Kurtov, A., & Shakhov, S. (2019). Залежність властивостей компресійної піни від робочих параметрів процесу генерування піни. *Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека*, 1(17), 54–63. <https://doi.org/10.33269/nvcs.2019.1.54-63>;

7. Нікулін О. Ф., Кодрик А.І., Тітенко О.М., Виноградов С.А., Шахов С.М. Функціонально-фізична схема установки для генерації компресійної піни. Харків, (2018). <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2018-7-146-163-166>;

8. Chen, Y., Chen, T., Fu, X. C., Bao, Z. M., & Hu, C. (2021). The research of compressibility of compressed air foam. *Journal of Physics: Conference Series*, 1820(1), 012021. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1820/1/012021>;

9. Dong-Ho, Rie; Jang-Won, Lee; Seonwoong, Kim. (2016). Class B Fire-Extinguishing Performance Evaluation of a Compressed Air Foam System at Different Air-to-Aqueous Foam Solution Mixing Ratios. *Applied Science*, 6, 191. <https://doi.org/10.3390/app6070191>;

10. Rie, D.-H., Lee, J.-W., & Kim, S. (2016). Class B fire-extinguishing performance evaluation of a compressed air foam system at different air-to-aqueous foam solution mixing ratios. *Applied Sciences*, 6(7), 191. <https://doi.org/10.3390/app6070191>;

11. Velykyi, N., Kovalyshyn, V., Voitovych, T., & Pastukhov, P. (2023). Дослідження стійкості та кратності компресійної піни. *Пожежна безпека*, 43, 34-40. <https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20786662.43.2023.05>;

12. П.П. Ключ, В.Г. Палюх, А.С. Пустовой, Ю.М. Сенчихін, В.В. Сировой. *Пожежна тактика: Підруч. — Х.: Основа, 1998.*;

13. Довідник керівника гасіння пожеж / За загальною редакцією В.С. Кропивницького. — К.: ТОВ «Літера-Друк», 2016. — 320 с.

References

1. Voitovych T.M. (2020). Improvement of the Subsurface Extinguishing Technology in Tanks with Petroleum Products. Doctor's thesis. Lviv [in Ukrainian] Available at: https://ldubgd.edu.ua/sites/default/files/3_nauka/svr/razovi/disertaciya_voytovich_t.m.pdf;
2. Kovalyshyn, V., Velykyi, N., Kovalyshyn, V., Voitovych, T., Bun, R., Novitskyi, Y., & Firman, V. (2024). Devising technology for extinguishing oil tanks using compressed foam by sub-layer technique. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(10) (129), 6–20. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.305684>;
3. Kovalyshyn V. V., Vasileva O. E., Koziar N. M. Pinne gasinia (2007). [Foam quenching]. ISBN 978-966-665-473-4. Spolom. Lviv. Ukraine;
4. Tytarenko A. V. «Gas-filled foam is an effective means of extinguishing forest fires». (2015). The Scientific Bulletin of UNFU. Vol. 25.9. pp.246-250; Available at: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&S21P03=FILA=&S21STR=nvnltnu_2015_25_9_41

FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=nvnlts_2015_25.9_41;

5. Vilinskyi R. V., Havrylyuk A. F. (2020). «Analysis of the use of compression foam». Problems and Prospects of Life Safety System Development: Proceedings of the XV International Research and Practical Conference of Young Scientists, Cadets and Students. Lviv, pp.16-17. Available at: <https://sci.ldubgd.edu.ua/bitstream/123456789/6990/1/1-16-46.pdf>;

6. Kodryk, A., Nikulin, O., Titienko, O., Kurtov, A., & Shakhov, S. (2019). DEPENDENCE OF COMPRESSION FOAM PROPERTIES FROM WORKING PARAMETERS OF FOAM GENERATION PROCESS. Scientific Bulletin: Civil Protection and Fire Safety, 1(1(7), 54–63. <https://doi.org/10.33269/nvcs.2019.1.54-63>;

7. Nikulin O. F., Kodrik A. I., Titenko O. M., Vinogradov S. A., Shakhov S. M. Functional physical scheme of the installation for the generation of compressed air foam. Kharkiv, 2018. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2018-7-146-163-166>;

8. Chen, Y., Chen, T., Fu, X. C., Bao, Z. M., & Hu, C. (2021). The research of compressibility of compressed air

foam. Journal of Physics: Conference Series, 1820(1), 012021. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1820/1/012021>;

9. Dong-Ho, Rie; Jang-Won, Lee; Seonwoong, Kim. (2016). Class B Fire-Extinguishing Performance Evaluation of a Compressed Air Foam System at Different Air-to-Aqueous Foam Solution Mixing Ratios. Applied Science, 6, 191. <https://doi.org/10.3390/app6070191>;

10. Rie, D.-H., Lee, J.-W., & Kim, S. (2016). Class B fire-extinguishing performance evaluation of a compressed air foam system at different air-to-aqueous foam solution mixing ratios. Applied Sciences, 6(7), 191. <https://doi.org/10.3390/app6070191>;

11. Velykyi, N., Kovalyshyn, V., Voitovych, T., & Pastukhov, P. (2023). RESEARCH OF STABILITY AND EXPANSION OF COMPRESSION FOAM. Fire Safety, 43, 34-40. <https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20786662.43.2023.05>.

12. Klus, P., Palukh, V., Pustovoi, A., Senchukhin, Yu., Sirovoi, V. (1998). Fire tactics. Kharkiv: OSNOVA.;

13. Handbook of the head of fire fighting. (2016).

According to the general edition Kropivnitsky V. Kyiv: Ltd "Litera-Druk", 320;

Рецензент: д-р техн. наук, доцент О.І. Лавренюк, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, України

Автор: КОВАЛИШИН Василь Васильович
доктор технічних наук, професор, професор кафедри
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

E-mail - kovalyshyn.v@gmail.com

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5463-0230>

Автор: ВЕЛИКИЙ Назарій Романович
ад'юнкт
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

E-mail - nvelukuy6@gmail.com

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7967-4491>

RESEARCH ON SUBSURFACE FIRE SUPPRESSION USING COMPRESSION FOAM IN TANKS WITH PETROLEUM PRODUCTS

V. Kovalyshyn, N. Velykyi

Lviv State University of Life Safety

The article is devoted to studying the effectiveness of "subsurface" fire suppression in tanks containing flammable liquids using compression foam. The research utilized a specially designed experimental setup that enables the generation and delivery of compression foam directly beneath the fuel layer. The compression foam covered the burning surface, remained stable for an extended period without breaking down, and prevented combustible vapors from entering the combustion zone, which is a key factor in halting the burning process. Experiments were conducted under laboratory conditions using a mock tank with a capacity of 250 liters. The compression foam generation system included: a fire extinguisher-like structure with a 12-liter capacity, air cylinders, medium- and high-pressure regulators with pressure gauges, a mixing chamber, valves, and flexible hoses through which the prepared foam was delivered. The foam was injected beneath the flammable liquid layer at a pressure of 4 MPa, ensuring its even distribution across the entire burning surface area. The results, based on three conducted experiments, demonstrated that the extinguishing time ranged from 52 to 57 seconds, with foam solution consumption varying between 2.9 and 3.2 liters. The low expansion ratio of the foam contributed to the formation of a dense and stable layer that effectively remained on the gasoline surface, preventing the evaporation of combustible vapors and eliminating the possibility of re-ignition. Particular attention was given to the economic efficiency of the method, as "subsurface" suppression with compression foam significantly reduces the consumption of foaming agents compared to traditional methods. The article also examines the main advantages of the "subsurface" approach over surface extinguishing. Delivering foam from below ensures a stable and controlled suppression process. Key limitations of the method are outlined, including the need to optimize the foam delivery system for large-volume tanks. Directions for further research are proposed to adapt the method for industrial conditions.

Keywords: subsurface fire suppression, compression foam, tank with petroleum products, low-expansion foam.

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Авдійчук О.В.	209	Дегтяр Д.В.	8	Михайлюк А.О.	362	Степанчук С.О.	410
Алексахін О.О.	233	Ільющенко П.О.	352	Майборода Р.І.	368	Стрілець В.В.	410
Афанасьєв О.В.	320	Караван І.С.	2	Михайлова Є.О.	404	Свіжєрський П.В.	428
Абрамов Ю.О.	362,384	Крайнюк М.Ю.	13	Мороз М.О.	404	Соболева Г.Г.	441
Бредіхін В.М.	2,8	Кульбашна Н.І.	52	Малишева В.В.	441	Севідова В.В.	475
Бараннік А.Є.	61	Криворучко Н.І.	100	Мельник О.М.	447	Стефанов В.О.	32
Борисенко А.С.	120,139,15 0,157,164	В. Камар	150	Набока А.В.	252	Таранов О.В.	2
Бупра Наїлі	120	Калмиков О.О.	193	Нестеренко С.Г.	339	Третяк С.П.	21
Блінова М.Ю.	129	Куницький М.О.	217	Ніжний В.В.	352	Ткаченко І.В.	70
Бард Едлін Заабун	157	Круглякова О.В.	233	Нефьодов В.М.	464	Тімашков М.П.	92
Бінкевич К.О.	193	Кравчук О.А.	238	Отрош Ю.А.	368	Тіщенко А.Г.	296, 301
Бобловський О.В.	233	Карагяур А.С.	243	Проценко Д.В.	129	Таргонська В.Б.	320
Бутник С.В.	258	Касьянов В.В.	307	Паша Є.О.	193	Ткачук В.Р.	325
Байструк О.В.	339	Ковальчук В.С.	325	Петренко Д.Г.	252	Терновський В.Б.	447
Балло Я.В.	377	Ковальов Д.О.	325	Почапський М.Д.	258	Усенко В.С.	203
Булгаков М.П.	447	Кривцова В.І.	362	Пілічева М.О.	271,313	Усенко І.С.	203
Бойко А.Г.	469	Коломієць В.С.	384	Паламар А.Ю.	307	Усенко Д.В.	203
Вєрбицька В.І.	2	Ковалишин В.В.	390	Пальченко О.Л.	345	Філіппова В.	416
Вергунова Н.С.	86	Колибельнікова Л.С.	441	Протасенко О.Ф.	404	Хамза Захід	157
Вотінов М.А.	181	Калініченко О.П.	475	Пекарська О.	416	Цимбал Б.М.	428
В'яткін Р.С.	280,285,291, 296,301,331	Литвинов А.Л.	2,8	Понкратов Д.П.	455, 482	Чугай М.О.	21
Великий Н.Р.	390	Лукашова Н.П.	52	Павленко О.В.	469	Чабан С. С.	100
Вальченко О.І.	410	Лян Цзінвен	80	Прасоленко О.В.	492	Черніков О.В.	203
Веселівський Р.	416	Лук'янчук Д.В.	209	Русанов А.В.	21	Чайка Т.М.	331
Воронько В.В.	455	Лукашенко С.В.	243	Русанов Р.А.	21	Черепаша О.С.	464
Гордієнко А.В.	43	Любовецький О.	416	Ріда Хдідуш	120	Чумаченко В.А.	492
Гопцій О.Б.	113	Лифенко С.Е.	482	Ріхаб Ел Ахал	139	Шара С.Ю.	70
Гатальська Н.В.	171	Макарова Т.К.	61	А. Рхузладі	150	Шімаа Бібіх Мавахаб	165
Гой В.В.	280,285,291, 1,296,301	Макаров А.В.	61	Рюмін В.В.	225	Штерндок Е.С.	307
Гавриш А.	416	Масленнікова В.В.	113	Руднева М.К.	233	Шевченко Р.І.	410
Галкін А.С.	455	Мехді Масрар	139	Рашкевич Н.В.	368	Швець М.Д.	455
Дзержинський І.В.	32	М. Морабіх	150	Скуріхін В.І.	52	Щербак О.В.	13
Далека В.Х.	52	Маруан Ежрауї	165	Салмі Салах	165	Щолоков Е.Е.	368
Данилюк А.А.	271	Михіденко М.О.	187	Смірнова О.В.	181	Яхья Феттан	157
Домарева С.С.	313	Максим'юк Ю.В.	209	Солодовник Ю.Ю.	225	Яссер Ель Хаммуті	165
Демочко І.О.	339	Малий Є.М.	266	Сироватський О.А.	243	Сур'янінов М.Г.	498
Дейнека Д.М.	404	Мамонов К.А.	280, 285,291,296, 301,307,325, 331	Середа Д.В.	377	Сур'янінов В.М.	498
Данова К.В.	441	Мамонов В.К.	291	Собина В.О.	384	Романенко С.В.	503
Давідів Ю.О.	455	Мусієнко О.О.	320	Серіков Я.О.	398		

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

КОМУНАЛЬНЕ ГОСПОДАРСТВО МІСТ

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЗБІРНИК

Серія: «Технічні науки та архітектура». Том 1. Випуск 189

Технічний редактор О.М. Чумак

Дизайн обкладинки А.О. Богославець

З електронною версією статей НТЗ «Комунальне господарство міст» можна ознайомитися на сайті збірника:

<http://khg.kname.edu.ua> та в цифровому репозиторії ХНУМГ ім. О.М. Бекетова: <http://eprints.kname.edu.ua>.

НТЗ «Комунальне господарство міст» пройшов індексацію в міжнародній базі **Index Copernicus International** та включений до бази даних **Index Copernicus International Journals Master List 2023**.

ICV 2023 становить 71.71

<https://journals.indexcopernicus.com/search/details?id=49313>



НТЗ «Комунальне господарство міст» включено до **Directory of Open Access Journals (DOAJ)** – міжнародного мультидисциплінарного каталогу журналів відкритого доступу.

Здано до склад. 10.03.2025 р.
Формат 60×84/8
Наклад 50 прим.
Ціна договірна

Підписано до друку 28.03.2025 р.
Папір офсетний
Зам. №

Гарнітура «Times New Roman»
Ум.-друк. арк. –
Обл.-вид. арк. –

Адреса редакції: 61002, місто Харків, вул. Черноглазівська, 17
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова