

Науковий збірник



**Центральноукраїнський
науковий вісник
Технічні науки**

**Central Ukrainian Scientific Bulletin
Technical Sciences**

Випуск 12(43)

Частина I

**Кропивницький
2025**

ISSN 2664-262X

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Центральноукраїнський національний технічний університет

**ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВИЙ ВІСНИК.
ТЕХНІЧНІ НАУКИ**

За загальною редакцією М.І. Черновола
Заснований у 1997 році

**В и п у с к 12(43)
Частина I**

Кропивницький • 2025

ISSN 2664-262X

Ministry of Education and Science of Ukraine
Central Ukrainian National Technical University

**CENTRAL UKRAINIAN SCIENTIFIC BULLETIN.
TECHNICAL SCIENCES**

Under the general editorship of M. Chernovol
Founded in 1997

**Issue 12(43)
Part I**

Kropyvnytskyi • 2025

У науковому віснику представлені статті, присвячені проблемам проектування, експлуатації та ремонту сільськогосподарської техніки і транспортних засобів, технології виробництва, транспортних технологій та логістики, будівництва, матеріалознавства, IT-технологій, роботизації, автоматизації в промисловості та сільському господарстві. Наведені практичні рекомендації до використання результатів досліджень у галузях народного господарства.

Науковий вісник є фаховим виданням, в якому публікуються основні результати наукових досліджень професорсько-викладацького складу, аспірантів, докторантів університету, а також науковців інших навчальних закладів, науково-дослідних інститутів НАНУ та промислових підприємств України.

Збірник розрахований на наукових, науково-технічних працівників різних галузей науки та техніки, ЗВО, здобувачів вчених ступенів і звань.

Рекомендовано до друку Вченою радою Центральноукраїнського національного технічного університету, протокол від 29 вересня 2025 року № 1.

Головний редактор: д-р техн. наук, проф. Михайло ЧЕРНОВІЛ

Редакційна колегія: Віктор АУЛІН, д-р техн. наук, проф., (заступник головного редактора за галузями: 13 «Механічна інженерія», 19 «Архітектура та будівництво», 20 «Аграрні науки та продовольство», 27 «Транспорт»); Сергій ЛИСЕНКО, канд. техн. наук, доц. (відповідальний секретар за галузями: 13 «Механічна інженерія», 19 «Архітектура та будівництво», 20 «Аграрні науки та продовольство», 27 «Транспорт»); Олексій СМІРНОВ, д-р техн. наук, проф., (заступник головного редактора за галузями: 12 «Інформаційні технології», 15 «Автоматизація та приладобудування»); Олександр ДОРЕНСЬКИЙ, канд. техн. наук, доц. (відповідальний секретар за галузями: 12 «Інформаційні технології», 15 «Автоматизація та приладобудування»); Андрій БАБІЙ, д-р техн. наук, проф.; Ірина БЕРЕЗЮК, канд. техн. наук, доц.; Варума АРІФА, Dr PhD (Niger); Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ, канд. техн. наук, проф.; Лариса ВІХРОВА, канд. техн. наук, проф.; Андрій ГАЛКІН, д-р техн. наук, проф.; Володимир ГАМАЛІЙ, д-р ф.-м. наук, проф.; Антон ГАСЕНКО, канд. техн. наук, доц.; Дмитро ГОЛУБ, канд. техн. наук, доц.; Андрій ГРИНЬКІВ, канд. техн. наук, ст. наук. співр.; Віктор ДАРИЄНКО, канд. техн. наук, доц.; Олександр ДІДИК, канд. техн. наук, доц.; Микола ЗОЦЕНКО, д-р техн. наук, проф.; Вячеслав ІВАЩУК, д-р техн. наук, доц.; Сергій КАРПУШИН, канд. техн. наук, доц.; Андрій КИРИЧЕНКО, д-р техн. наук, проф.; Олександр КОВАЛЕНКО, д-р техн. наук, проф.; Тетяна КОРЕНЬКОВА, д-р техн. наук, доц.; Олександр КУЗИК, канд. техн. наук, доц.; Василь МАТЕЙЧИК, д-р техн. наук, проф.; Анатолій МАЦУЙ, д-р техн. наук, проф.; Єлизавета МЕЛЕШКО, д-р техн. наук, проф.; Сергій ОСАДЧИЙ, д-р техн. наук, проф.; Віктор ПАШИНСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф.; Микола ПАШИНСЬКИЙ, канд. техн. наук, доц.; Петро ПЛІШКОВ, канд. техн. наук, проф.; Олександр РОССОЛОВ, д-р техн. наук, доц.; Сергій РУБАН, канд. техн. наук, доц.; Василь САЛЮ, д-р техн. наук, проф.; Сергій СМІРНОВ, канд. техн. наук, доц.; Михайло СТОРЧАК, д-р техн. наук, ст. наук. співр. (Німеччина); Людмила ТАРАНДУШКА, д-р техн. наук, проф.; Геннадій ФІЛІМОНІХІН, д-р техн. наук, проф.; Ігор ШЕПЕЛЕНКО, д-р техн. наук, порф.; Володимир ЯЦУН, д-р техн. наук, доц.

Експерти – літературні редактори: Валерій МИЦЕНКО, канд. пед. наук, доц. (англійська мова); Тетяна БАБИЧ, канд. філол. наук, доц. (українська мова).

Адреса редакційної колегії: 25030, м. Кропивницький, проспект Університетський, 8, Центральноукраїнський національний технічний університет, тел.: +380 (522) 390-472, +380 (522) 390-437, +380 (522) 55-10-49.

Офіційний сайт: <http://mapiea.kntu.kr.ua/>

Автори опублікованих матеріалів несуть відповідальність за підбір і точність наведених фактів, цитат, економіко-статистичних даних, власних імен та інших відомостей, а також за те, що матеріали не містять даних, які не підлягають відкритій публікації. Редакція може публікувати статті в порядку обговорення, не поділяючи точки зору автора.

Науковий вісник заснований у 1997 році.

Включений до Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватись результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук (доктора філософії) в галузі технічних наук (постанови Президії ВАК України від 9 червня 1999 року №1-05/7, від 14 жовтня 2009 року № 1-05/4; накази Міністерства освіти і науки України від 29 грудня 2014 року № 1528, від 07 листопада 2018 року № 1218, від 02 липня 2020 року № 886, від 24 вересня 2020 року № 1188).

Науковий вісник зберігається в загальнодержавній реферативній базі даних «*Україніка наукова*» Національної бібліотеки України ім. В.І. Вернадського та представлений у міжнародних наукометричних базах даних *Index Copernicus*, *CrossRef*, *Open Ukrainian Citation Index*, *WorldCat*, *ResearchBib*, *Google Scholar*

Ідентифікатор media: R30-03350 (рішення Нацради України з питань ТБ і РМ від 25.04.2024 р. № 1418).

ISSN 2664-262X (p), 2707-9449 (o)

DOI: 10.32515/2664-262X

ЗМІСТ

Комп'ютерні науки

<i>Л. П. Матійчук, О. П. Доренський, О. В. Шишацька, А. В. Шишацький, Я. І. Музичшин</i> Інтелектуальна система моніторингу дотримання правил паркування транспортних засобів	11-19
<i>Ю. І. Підлісний</i> Інтелектуально-контекстна модель класифікації середовищ інтернету речей	20-30
<i>М. Ф. Семенюта, С. М. Якименко, С. І. Осадчий</i> Оптимізація планування маршрутів безпілотних літальних апаратів для ефективного покриття заданої території.....	31-43
<i>О. С. Улічев, В. П. Кулагін</i> Оптимізація роботи мікросервісів на основі теорії ігор	44-57
<i>І. В. Шелехов, Д. В. Прилепа, Ю. О. Хібовська, К. Є. Шамонін, О. П. Доренський</i> Інформаційно-екстремальна технологія інтелектуального аналізу якості освітнього контенту в закладах вищої освіти.....	58-72

Комп'ютерна інженерія

<i>Т. О. Єфіменко, Л. Я. Мартинович</i> Синтез трійкового дворозрядного лічильника на базі трійкових Т-тригерів.....	73-79
<i>С. М. Лисенко, А. В. Качур</i> Інтегрована рамкова модель оцінки резильєнтності систем віртуальної реальності	80-89

Кібербезпека та захист інформації

<i>О. В. Лозинська, О. О. Марків, В. А. Висоцька</i> Виявлення джерел та учасників пропаганди в TikTok із використанням методів машинного навчання.....	90-98
---	-------

Прикладна механіка

<i>А. Р. Апаракін, К. К. Щербина, А. М. Кириченко, В. А. Годорожа</i> Підвищення надійності кульково-гвинтового гідропідсилювача рульового управління із аксіальною структурою приводу	99-105
<i>І. Б. Гевко, Р. М. Рогатинський, А. Є. Дячун, Т. А. Довбуш, А. Д. Довбуш, А. Г. Никитюк</i> Синтез двовальних гвинтових конвеєрів-змішувачів	106-114

А. Є. Дячун, І. Б. Гевко, О. Ю. Стібайло, Р. Я. Лещук, Р. В. Комар
Теоретичне дослідження технологічного процесу оброблення зовнішньої
крайки гвинтових елементів сільськогосподарської техніки 115-125

Г. Б. Філімоніхін, Ю. О. Сокальська, Ю. О. Остапчук
Модернізація методу коефіцієнтів впливу для визначення динамічної
незрівноваженості жорсткого двохопрного ротора 126-132

Галузеве машинобудування

Е. Б. Алієв, І. М. Білоус
Симуляція процесу руйнування зерна ударним різанням 133-146

Е. Б. Алієв, О. А. Черній
Аналіз віброживильників для транспортування та дозування насіння
в системі їх автоматичного фенотипування 147-163

І. М. Бажан
Результати експериментального дослідження сепарації зерна на плоскому
коливальному решеті із зигзаговидним розташуванням отворів..... 164-174

О. В. Іванкова, В. О. Федін
Дослідження відновлення деталей шестеренних насосів пластичним
деформуванням 175-186

Р. В. Кісільов, П. Г. Лузан, В. В. Амосов, М. О. Васильковський
Дослідження впливу конструктивних параметрів змішувача на якість
приготування кормової суміші 187-194

В. В. Клименко, *Ю. А. Невдаха, О. В. Скрипник, С. В. Конончук, В. І. Кравченко*
Застосування шнекового методу пресування водовмісної композитної сировини
для виготовлення дослідно-промислової партії біопаливних пелет 195-205

Б. І. Котов, В. Г. Мироненко, С. П. Погорілий, В. О. Грищенко, Ю. І. Панцир
Аналіз процесів вібропневмосепарації зернових матеріалів з точки зору
завдань керування 206-216

*С. І. Криштопа, А. І. Сем'янчук, А. І. Добуш, Д. В. Копильців,
Р. М. Матвієнко, І. М. Солярчук*
Дослідження потенціалу рекуперації енергії відпрацьованих газів двигунів
технологічного транспорту 217-226

О. О. Матвієнко, В. В. Аулін, А. В. Гриньків
Стан та напрями розвитку архітектури даних для інтелектуальної оцінки
технічного стану мобільних машин агропромислового виробництва..... 227-237

І. М. Микитій
Експериментальні дослідження підвищення енергозбереження силових
приводів при переведенні на газоподібні продукти конвертації метанолу 238-244

<i>Д. С. Недельський, Д. І. Петренко, С. М. Лещенко, О. М. Васильковський</i> Мехатронний аналіз роботи пневмогравітаційного сепаратора зернових сумішей	245-252
<i>О. І. Фількін, А. М. Тригуба</i> Цифровий двійник кіберфізичної системи миття сільськогосподарської техніки	253-264
<i>С. О. Харченко, О. І. Біловод, Ф. М. Харченко, А. М. Стельмах, В. В. Тіманов, А. І. Чигрин</i> Методи визначення показників надійності рифлених перфорованих просіювальних поверхонь	265-271
<i>В. М. Чумак, В. В. Аулін, А. В. Гриньків, С. В. Лисенко, О. В. Кузик</i> Підвищення зносостійкості та надійності деталей транспортної та сільськогосподарської техніки методами інжинірингу із застосуванням нейронних мереж	272-288
<i>В. В. Яцун, С. О. Джирма, О. О. Руденко</i> Огляд конструкцій гумових футеровок барабаних кульових млинів та перспективи їх розвитку	289-298
<i>В. В. Яцун, І. О. Скриннік, Г. Д. Портнов, О. В. Горпинченко</i> Дослідження механіки руху сипкого кускового матеріалу у вібраційно-пневмотранспортній машині циклічної дії	299-307
Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка	
<i>П. Г. Плешков, В. П. Солдатенко, В. В. Зінзура, О. І. Сіріков, С. П. Плешков</i> Оптимальне керування рівнем генерації активної потужності установками з відновлюваними джерелами енергії	308-315
Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології	
<i>О. О. Бойко, Є. К. Воскобойник, Є. В. Кошеленко</i> Дослідження процесу керування тепловим комфортом у багатокімнатному будинку з використанням децентралізованої системи.....	316-325
<i>С. Г. Ковальов, В. В. Аулін, А. В. Гриньків, Ю. Г. Ковальов</i> Особливості побудови програмної симуляції для оптимізації ефективності використання та надійності експлуатації автоматизованих виробничих ліній	326-332
<i>Г. О. Корогод, Н. В. Чупринка, А. М. Кириченко</i> Комп'ютерне моделювання впливу надлишковості на точність визначення параметрів логарифмічної функції перетворення сенсора	333-341
<i>В. В. Смірнов, Н. В. Смірнова</i> Дослідження технічних характеристик бездротової мережі Easy Net Everywhere	342-349

Будівництво та цивільна інженерія

С. В. Біда, О. В. Петраш, Р. В. Петраш

Ефективність армування ґрунтоцементних елементів, влаштованих за бурозмішувальною технологією 350-357

А. С. Лапченко

Порівняння властивостей дорожнього цементобетону з додаванням поліпропіленових та базальтових фібр 358-365

В. А. Пашинський, М. В. Пашинський

Сполучення навантажень на покрівлі виробничих і цивільних будівель 366-374

Автомобільний транспорт

А. В. Йовченко

Підвищення енергоефективності, екологічності та енергетичної незалежності автотранспортних підприємств 375-382

Д. О. Шалапко, Я. І. Тарандушка

Оцінка впливу водневих добавок на довговічність та надійність двигунів внутрішнього згоряння 383-391

І. А. Шльончак, М. П. Рудь

Можливі прогресивні методи переробки автомобільних шин 392-399

Транспортні технології (за видами)

А. А. Кочина, С. М. Неронов

Визначення та оцінка попиту на разові замовлення на ринку транспортних послуг у міжміському сполученні 400-409

Інформація про авторів 410-425

CONTENT

Computer Science

- Liubomyr Matiichuk, Oleksandr Dorenskyi, Olena Shyshatska, Andrii Shyshatskyy, Yaroslav Muzychyshyn*
Intelligent System for Monitoring Compliance with Vehicle Parking Regulations11-19
- Yuriy Pidlisnyi*
Intelligent-Contextual Model for the Classification of Internet of Things Environments20-30
- Maryna Semeniuta, Serhii Yakymenko, Serhii Osadchy*
Optimal Route Planning of Unmanned Aerial Vehicles for Efficient Coverage of a Given Area31-43
- Oleksandr Ulichev, Victor Kulahin*
Game-Theoretic Approach to Microservice Optimization44-57
- Igor Shelekhov, Dmytro Prylepa, Yuliia Khibovska, Kiril Shamonin, Oleksandr Dorenskyi*
Information-Extreme Technology of Intelligent Analysis of Educational Content Quality in Higher Education Institutions58-72

Computer Engineering

- Timur Yefimenko, Larysa Martynovych*
Synthesis of a Ternary Two-Bit Counter Based on Ternary T-Triggers73-79
- Sergii Lysenko, Artem Kachur*
An Integral Resilience Evaluation Framework for Virtual Reality Systems80-89

Cybersecurity and Information Protection

- Olga Lozynska, Oksana Markiv, Victoria Vysotska*
Identifying Sources and Participants of Propaganda in TikTok Using Machine Learning90-98

Applied Mechanics

- Anton Aparakin, Kyryl Shcherbyna, Andriy Kyrychenko, Viktor Hodorozha*
Increasing the Reliability of the Ball-Screw Hydraulic Power Steering with an Axial Drive Structure99-105
- Ivan Hevko, Roman Rohatynskyi, Andrii Diachun, Taras Dovbush, Anatolii Dovbush, Andrii Nykytiuk*
Synthesis of Twin-Shaft Screw Conveyor Mixers106-114

Andrii Diachun, Ivan Hevko, Oleg Stibailo, Roman Leshchuk, Roman Komar
Theoretical Study of the Technological Process of Machining the Outer Edge
of Screw Elements of Agricultural Machinery 115-125

Gennadiy Filimonikhin, Yuliia Sokalska, Yuliia Ostapchuk
Modernization of the Influence Coefficient Method for Determining
the Dynamic Unbalance of a Rigid Two-Support Rotor 126-132

Industrial Machinery Engineering

Elchyn Aliiev, Illia Bilous
Simulation of the Grain Destruction Process by Impact Cutting 133-146

Elchyn Aliiev, Olexandr Chernii
Analysis of Vibrating Feeders for Transporting and Dosing Seeds in the System
of Their Automatic Phenotyping 147-163

Ihor Bazhan
Results of the Experimental Study on Grain Separation Using a Flat Oscillating
Sieve with Zigzag-Shaped Hole Arrangement 164-174

Olena Ivankova, Vitalii Fedin
Research on the Restoration of Gear Pump Parts by Plastic Deformation 175-186

Ruslan Kisilyov, Petro Luzan, Volodymyr Amosov, Mykhailo Vasylovskyi
Research on the Influence of Mixer Design Parameters on the Quality
of Feed Mixture Preparation 187-194

*Vasyl Klymenko, Yurii Nevdakha, Oleksandr Skrypnyk,
Sergiy Kononchuk, Volodymyr Kravchenko*
Application of the Screw Method of Pressing Water-Containing Composite Raw
Materials for the Manufacture of a Pilot Batch of Composite Biofuel Pellets 195-205

*Borys Kotov, Valentyn Myronenko, Serhii Pohorylyi,
Volodymyr Hryshchenko, Yurii Pantsyr*
Analysis of Vibro-Pneumatic Separation Processes of Grain Materials
in the Context of Control Objectives 206-216

*Sviatoslav Kryshchtopa, Andriy Semianchuk, Andriy Dobush,
Dmytro Kopyltsiv, Roman Matviienko, Ivan Solyarchuk*
Research into the Potential for Energy Recovery from Exhaust Gases
from Technological Transport Engines 217-226

Oleksandr Matviienko, Viktor Aulin, Andriy Grynkiv
Status and Development Directions of Data Architecture for Intelligent Assessment
of the Technical Condition of Mobile Machines of Agro-Industrial Enterprises 227-237

Ivan Mykytii

Experimental Studies on Increasing Energy Saving of Power Drives During
Their Conversion to Gaseous Products of Methanol Conversion.....238-244

Dmytro Nedelsky, Dmytro Petrenko, Serhii Leshchenko, Oleksii Vasylykovsky

Mechatronic Analysis of the Operation of a Pneumogravity Separator
for Grain Mixtures245-252

Orest Filkin, Anatoliy Tryhuba

Digital Twin of a Cyber-Physical System for Washing Agricultural Machinery253-264

Serhii Kharchenko, Oleksandra Bilovod, Farida Kharchenko,

Andrii Stelmakh, Volodymyr Timanov, Anton Chyhryn

Methods for Determining the Reliability Indicators of Corrugated
Perforated Sifting Surfaces265-271

Vitaliy Chumak, Viktor Aulin, Andrii Grynkyv, Serhii Lysenko, Oleksandr Kuzyk

Increasing the Wear Resistance and Reliability of Resource-Determining
Parts of Transport and Agricultural Machinery by Engineering Methods
Using Neural Networks272-288

Volodymyr Yatsun, Stanislav Dzhyrma, Oleksandr Rudenko

Overview of the Rubber Linings Designs of Drum Ball Mills and Further
Prospects for Their Development.....289-298

Volodymyr Yatsun, Ivan Skrynnik, Gennadiy Portnov, Olha Horpynchenko

Study of the Mechanics of the Movement of Loose Lumpy Material
in the Loading Zone on the Vibration-Acceleration Section of the Vibration
Pneumatic Transport Machine of Cyclic Action.....299-307

Power Engineering, Electrical Engineering, and Electromechanics

Petro Plieshkov, Valentyn Soldatenko, Vasyl Zinzura,

Oleksandr Sirikov, Serhii Plieshkov

Optimal Control of Active Power Generation Levels by Renewable
Energy Plants308-315

Automation and Computer Integrated Technologies

Oleg Boyko, Yevhen Voskoboinyk, Yevhenii Koshelenko

Study of the Process of the Control of the Thermal Comfort in a Building
with Several Rooms Under the Conditions of Limited Energy Supply316-325

Serhii Kovalov, Viktor Aulin, Andrii Grynkyv, Yurii Kovalov

Features of Building Software Simulation to Optimize the Efficiency
and Reliability of Automated Production Lines Using AI Methods.....326-332

Hanna Korohod, Nataliia Chuprynka, Anton Kyrychenko

Computer Modeling of the Impact of Redundancy on the Accuracy of Determining
the Current Parameters of the Sensor Logarithmic Transformation Function..... 333-341

Volodymyr Smirnov, Nataliia Smirnova

Research of Technical Characteristics of the Easy Net Everywhere Wireless Network 342-349

Construction and Civil Engineering

Serhii Bida, Oleksandr Petrash, Ruslan Petrash

Reinforcement Efficiency of Soil-Cement Elements Manufactured
by Deep Soil Mixing Technology 350-357

Artem Lapchenko

Comparison of Road Cement Concrete Properties with Polypropylene
and Basalt Fibers Addition..... 358-365

Victor Pashynskiy, Mykola Pashynskiy

Combination of Loads on Roofs of Industrial and Civil Buildings 366-374

Road Transport

Alla Yovchenko

Integration of Solar Energy Systems into Motor Transport
Enterprises to Ensure Energy Autonomy, Energy Efficiency
and Environmental Friendliness..... 375-382

Denys Shalapko, Yan Tarandushka

Assessment of Hydrogen Additives Impact on the Durability and Reliability
of Internal Combustion Engines..... 383-391

Ihor Shlonchak, Maksym Rud

Possible Progressive Ways of Recycling Car Tires 392-399

Transport Technologies (by Types)

Anastasia Kochina, Serhii Neronov

Identification and Assessment of Demand for One-Off Orders in the Intercity Transport
Services Market in Kyiv Region and Beyond..... 400-409

Information About Authors 410-425

БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

УДК 624.138.23:624.012.25 [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12\(43\).1.350-357](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12(43).1.350-357)

С. В. Біда, доц., канд. техн. наук, О. В. Петраш, доц., канд. техн. наук,

Р. В. Петраш, доц., канд. техн. наук

*Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, Україна**e-mail: serhii.bida@pdau.edu.ua*

Ефективність армування ґрунтоцементних елементів, влаштованих за бурозмішувальною технологією

Проаналізовано досвід підсилення основ фундаментів будівель і споруд шляхом утворення ґрунтоцементних елементів різними способами. Акцентовано увагу на перевагах таких елементів, влаштованих за бурозмішувальною технологією. Недоліком ґрунтоцементних елементів є їх відносно низька міцність за матеріалом. Підвищення несучої здатності можливе за рахунок їх армування, однак занурення каркасу у ґрунтоцемент є проблематичним. Запропоновано спосіб, що дозволяє збільшити глибину армування ґрунтоцементних елементів.

підсилення основ, ґрунтоцемент, бурозмішувальна технологія, армування

Постановка проблеми. Інтенсивний розвиток будівництва з одного боку дозволяє зводити більш високі будівлі і споруди, змінювати конструктивні схеми будівель для більш ефективного використання внутрішнього простору, будувати на територіях, що раніше вважались малопридатними для сучасних будівель. Збереження земель сільськогосподарського призначення спонукає до використання для будівництва територій, розміщених на схилах, на підроблюваних територіях, складених насипними, намівними, слабкими, засоленими, просадочними ґрунтами та ґрунтами з іншими особливими властивостями. Підвищення навантажень на основу, яка має недостатню міцність, вимагає від будівельників застосовувати фундаменти, здатні витримати ці навантаження, або ж вжити заходів для підвищення несучої здатності основи. Використання фундаментів, що передають навантаження на глибоко розміщені шари ґрунту значно збільшує вартість і терміни будівництва, використання спеціальної техніки та часто вимагає виконання робіт з улаштування фундаментів спеціалістами високої кваліфікації. Тому останнім часом значна увага приділяється розвитку технологій підсилення ґрунтів основи, що дозволяє в кінцевому результаті використати фундаменти неглибокого закладання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Згідно класифікації, розробленій М.Л. Зоценком [1] підсилення основ може бути виконане різними способами – як з вийманням ґрунту (влаштування ґрунтових чи піщаних подушок), так і без нього (ущільнення трамбівками чи з використанням ґрунтових паль, термічною чи електрохімічною обробкою ґрунту та нагнітанням у ґрунт в'язучих речовин). Особливу увагу при підсиленні основ приділяють останнім способом, так як вони не пов'язані з вийманням ґрунту і дозволяють виконати роботи у стиснуті строки.

Підсилення ґрунтів шляхом нагнітання у ґрунт в'язучої речовини пов'язане з використанням обладнання, здатного створити необхідний тиск для проникнення в'язучого у ґрунт або ж для руйнування структури ґрунту і перемішування його з в'язучим [2-6]. Так, якщо для звичайної цементації необхідне обладнання, здатне

створювати тиск до 0,4 МПа, то нагнітання цементно-силікатних, піщано-цементно-силікатних розчинів та особливих композитних розчинів ін'єктуванням виконують під тиском до 0,8 МПа, а струменева цементация (JET GROUTING), за якою відбувається одночасне руйнування і перемішування ґрунту з цементним розчином у режимі тіх-іп-пласе (перемішування на місці), потребує використання енергії високонапірного струменя (35-70 МПа). Отримані різними способами ґрунтоцементні елементи широко використовуються у будівництві для підсилення слабких основ, влаштування утримуючих, огорожуючих, гідроізоляційних чи відокремлюючих споруд при зведенні підземних частин чи фундаментів будівель і споруд [7, 8].

Звичайно, такі технології дозволяють влаштувати окремі масиви (палі) підсиленого ґрунту значних розмірів, однак виникає питання щодо контролю постійності перерізу утворених елементів у ґрунтових масивах, особливо у тих, що характеризуються неоднорідністю складу, наявністю включень чи послаблених зон. Цих недоліків можна уникнути, використовуючи інший метод подання в'язучого у ґрунтовий масив – створення ґрунтоцементних елементів за бурозмішувальною технологією.

Бурозмішувальна технологія вже тривалий час широко застосовується для підсилення основ, складених слабкими ґрунтами шляхом підвищення фізико-механічних властивостей цих ґрунтів [9, 10]. Суть технології заключається в розпушуванні ґрунту безпосередньо у свердловині за допомогою спеціальної бурової насадки без виймання його на поверхню і ретельному перемішуванні його з водоцементною суспензією. Водоцементна суспензія (цементний розчин різної консистенції залежно від характеристик ґрунтів) подається до свердловини розчинонасосом під тиском 0,2 – 0,5 МПа. Після твердіння ґрунтоцементної суміші утворюється каменеподібний матеріал, який не розмокає у водонасичених умовах, має густину 1,8 – 1,9 т/м³, міцність 2–3,5 МПа.

Спосіб влаштування ґрунтоцементних паль (ґрунтоцементних елементів) за бурозмішувальною технологією має ряд переваг перед іншими способами:

- висока мобільність комплексу обладнання, необхідного для виготовлення ґрунтоцементних елементів;
- низький рівень динамічної дії на ґрунтову основу, що робить можливим використання такої технології на схилах, при влаштуванні утримуючих протизсувних споруд;
- легке варіювання параметрів ґрунтоцементних елементів шляхом зміни діаметру робочого обладнання чи глибини елементів;
- можливість використання методу підсилення ґрунтів у обмеженому просторі, що дає можливість підсилювати основу існуючих будівель і споруд, наприклад при піднятті рівня ґрунтових вод;
- низький рівень шуму та вібрації, що надає переваг методу з точки зору охорони праці;
- відсутність залежності технологічного процесу від постачання сумішей чи матеріалів;
- можливість влаштування майданчика для підготовки суміші в'язучого за межами робочого простору, або ж використання суміші в'язучого, підготовленої у заводських умовах;
- можливість виконання підсилення ґрунтів з різноманітними особливими властивостями, включаючи обводнені ґрунти;
- відсутність впливу погодних факторів на технологічний процес;
- заощадливе використання цементного розчину;

- контроль за витратами цементного розчину, що дозволяє отримати однорідність ґрунтоцементного елемента по всій довжині;
- контроль за витіканням пульпи на поверхню землі, та відсутність проблеми її утилізації;
- використання широкодоступного обладнання для влаштування ґрунтоцементного елемента, що не потребує наявності фахівців високої кваліфікації;
- міцність отриманих ґрунтоцементних елементів, отриманих за інших рівних умов, порівняна з міцністю елементів, отриманих за технологією jet grouting;
- відсутність необхідності використання глинистих розчинів чи обсадних труб для збереження постійного перерізу елементів, оскільки рідкий ґрунтоцемент спроможний самостійно утримувати стійке положення стінок свердловини;
- відсутність використання привізних ґрунтів для влаштування ґрунтоцементних елементів;
- можливість легкого регулювання ступеня підсилення ґрунтової основи шляхом зміни розмірів сітки влаштування ґрунтоцементних елементів;
- можливість влаштування суцільних стінок із ґрунтоцементу для створення водонепроникних завіс та розділюючих стінок між близько розміщеними будівлями.

Постановка завдання. Необхідно відзначити, що суттєвим недоліком ґрунтоцементних елементів у порівнянні з бетонними є їх відносно низька міцність за матеріалом. Перевагою бетонних елементів є можливість їх армування металевими каркасами як при виготовленні у збірному варіанті, так і при бетонуванні влаштованих порожнин. Армування ґрунтоцементних елементів є технологічно більш складним процесом, оскільки їх влаштування ведеться без виймання ґрунту. Тому метою даної роботи є пошук способів виконання ефективного армування ґрунтоцементних елементів під час їх влаштування. Для досягнення мети необхідно виконати такі задачі:

- проаналізувати існуючі методи армування ґрунтоцементних елементів та виявити їх недоліки;
- вибрати найбільш ефективний спосіб армування ґрунтоцементних елементів;
- вдосконалити спосіб армування з урахуванням можливості використання того ж обладнання, яким влаштовуються ґрунтоцементні елементи.

Вирішення задачі підвищення міцності ґрунтоцементних елементів дозволить значно розширити область їх використання та застосовувати їх з більшою ефективністю.

Виклад основного матеріалу. Для збільшення міцності ґрунтоцементу вдавались до багатьох способів. Так, окрім цементу у ґрунт додавали золу виносу [11-14], пластифікуючі добавки [15], піддавали ґрунтоцемент впливу вібрації [16], виконували армування синтетичними матеріалами [17]. Підвищити міцність ґрунтоцементних елементів можливо також за рахунок збільшення кількості цементу, однак такий шлях має свою межу, адже будь-який ґрунт у природному стані має свій показник пористості, а враховуючи, що при виготовленні ґрунтоцементних елементів за бурозмішувальною технологією у ґрунт подається цементне молоко, повне заповнення пор неможливе. Ще більш актуальним цей фактор стає при підсиленні насичених водою ґрунтів, адже в такому випадку пори ґрунту майже повністю заповнені водою.

Тому найбільш прийнятним способом підвищення міцності ґрунтоцементних елементів є їх армування металевими елементами.

Раніше була доведена можливість армування ґрунтоцементу, оскільки виконується основна передумова сумісної роботи цього матеріалу з арматурою – близькість значень коефіцієнта теплового лінійного розширення обох матеріалів.

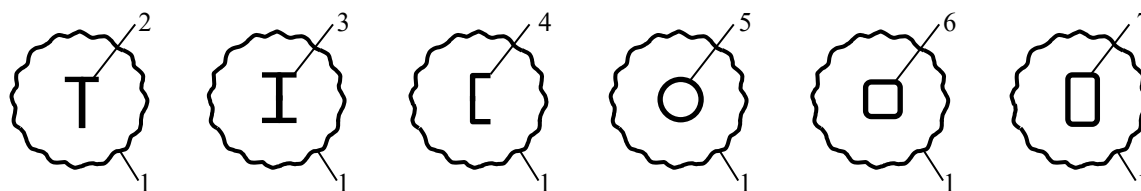
Питання корозійної стійкості арматури розглядалось у роботах [18, 19] з метою довести, що ґрунтоцемент створює достатній захист каркасу від впливу вологи, особливо враховуючи що виготовлення та експлуатація ґрунтоцементних елементів передбачається у обводнених ґрунтах, а в деяких випадках ґрунтові води можуть створювати агресивне середовище.

Водонепроникні властивості ґрунтоцементу вивчались в лабораторних умовах шляхом виготовлення зразків із суміші лесових суглинків (оскільки саме такі ґрунти при обводненні переходять у категорію слабких ґрунтів) з портландцементом марки М400. Вміст портландцементу становив 20 % від ваги сухого ґрунту, водоцементне відношення розчину – $V/C = 1$. Після виготовлення зразки зберігалися у вологих умовах протягом 28 діб. Випробування проводились стандартним методом «микрої плями». Водонепроникність серії зразків оцінювалась максимальним тиском води, за якого на чотирьох із шести зразків не спостерігалось просочування води. У результаті було визначено, що ґрунтоцемент відповідає марці за водонепроникністю W14.

Паралельно проводились випробування зразків ґрунтоцементу на водонепроникність експрес-методом з використанням пристрою ВВ-2. Результати випробувань також підтвердили, що водонепроникність ґрунтоцементу відповідає марці W14.

Таким чином на основі проведених випробувань визначено, що близькість коефіцієнтів теплового розширення ґрунтоцементу та арматури, низька проникність та однорідність ґрунтоцементу дає можливість проводити армування ґрунтоцементних елементів.

З огляду на те, що армування ґрунтоцементних елементів каркасом на значну глибину проблематично, навіть майже відразу після їх виготовлення, використовуються способи армування таких конструкцій з використанням прокатних профілів (тавр, двотавр, швелер, труби круглого, квадратного чи прямокутного перерізу тощо), які розміщуються по центру поперечного перерізу.



(1 – ґрунтоцементний елемент; 2 – 7 – прокатні профілі) (тавр, двотавр, швелер, труба круглого перерізу, труба квадратного перерізу, труба прямокутного перерізу відповідно)

Рисунок 1 – Схеми армування ґрунтоцементних елементів прокатними профілями
Джерело: розроблено авторами

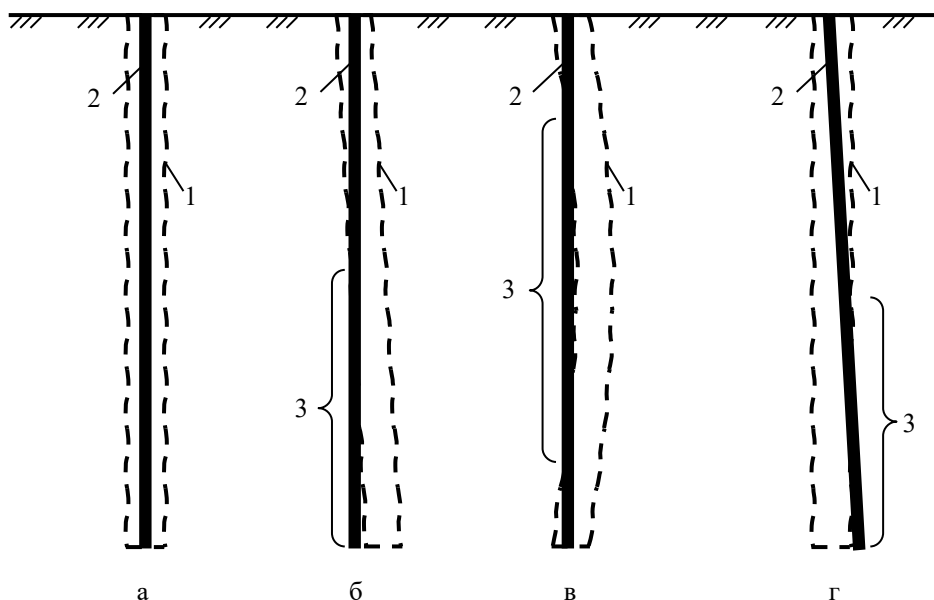
На перший погляд такий метод має переваги з точки зору полегшення занурення за рахунок значної жорсткості армуючого елемента, створення сприятливих умов для набору міцності ґрунтоцементної суміші, розміщеної в середині замкнутих профілів, збільшення площі контакту армуючого елемента з ґрунтоцементом, що покращує умови їх сумісної роботи.

Однак досвід влаштування ґрунтоцементних елементів показує, що тіло ґрунтоцементного елемента може мати не вертикальне положення, а похиле, а іноді і вигнуте по довжині. У такому випадку при армуванні тіла ґрунтоцементного елемента жорсткими профілями фіксується вихід профіля за межі тіла ґрунтоцементного елемента, що робить неможливою їх сумісну роботу. Такий же ефект можна

спостерігати при найменшому відхиленні жорсткого профілю від вертикального положення.

З іншого боку концентрація арматури призводить, у свою чергу, до нерівномірного розподілу напружень по площі поперечного перерізу елемента та їх концентрації біля армуючого елемента, що може призвести до його «продавлювання» через ґрунтоцементний елемент. Та і відомо, що армовані елементи працюють значно краще при розосередженні арматури по поперечному перерізу.

Тому дослідження проводились за умови армування ґрунтоцементних елементів арматурними каркасами. Виявилось, що занурення арматурних каркасів у ґрунтоцемент можливе лише на обмежену глибину, адже наявність поперечної арматури (кількість якої збільшується з глибиною занурення каркасу) потребує значного зусилля вдавлення, що, в свою чергу, призводить до втрати стійкості каркасу, його деформації та втрати проектного положення. Використання вібрації для полегшення занурення каркасу призводить до більшого ущільнення ґрунтоцементної суміші і, як наслідок, погіршення умов занурення каркасу. Тому використання армування верхньої частини ґрунтоцементних елементів можливе, наприклад, за необхідності забезпечення їх жорсткого закріплення з ростверком чи фундаментною плитою.



а – співвісне положення ґрунтоцементного елемента і армуючого профілю; б – нахил ґрунтоцементного елемента; в – вигин ґрунтоцементного елемента; г – нахил армуючого елемента
(1 – ґрунтоцементний елемент; 2 – прокатний профіль; 3 – зона виходу профіля за межі тіла ґрунтоцементного елемента)

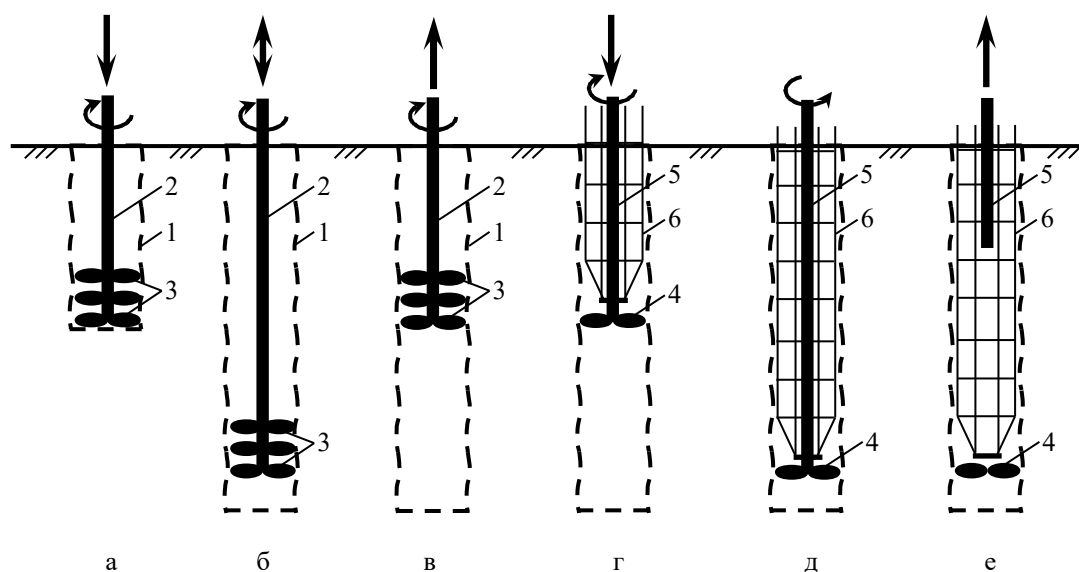
Рисунок 2 – Вихід профіля за межі тіла ґрунтоцементного елемента

Джерело: розроблено авторами

Армування ґрунтоцементного елемента окремими стрижнями потребує менше затрат, однак не гарантує проектного положення стрижня по всій довжині елемента, включаючи його можливий вихід за межі ґрунтоцементу, що з одного боку не дозволить елементу мати необхідну несучу здатність, а з іншого – неминуче призведе до корозії арматури яка не захищена ґрунтоцементом.

Виникає питання розробки технології армування ґрунтоцементних елементів, яка б дозволила значно збільшити глибину занурення каркасу.

Суть такої технології полягає у використанні ефекту «розрідженого» стану ґрунтоцементу в якому він перебуває під час перемішування суміші. Перед зануренням каркасу його необхідно приєднати до зовнішньої пустотілої циліндричної штанги, всередині якої розміщена внутрішня штанга зі знімними ножами на вістрі. Під час занурення ножі, обертаючись за допомогою внутрішньої штанги, розпушують ґрунт і підтримують його у пластичному стані. Обидві штанги опускаються одночасно, разом із зовнішньою штангою проводиться занурення каркасу. Кріплення до штанги дозволяє зберігати каркасу проектне положення. Після досягнення проектної глибини штанги підіймаються, від'єднуючись від каркасу та залишаючи знімний ніж під каркасом. Для забезпечення цілісності ґрунтоцементного елемента підняття штанг відбувається паралельно з вібруванням, що дозволить уникнути утворення порожнин у тілі елемента. Глибина армування елемента каркасом з використанням такого методу буде значно більшою ніж при армуванні способом вдавлювання каркасу.



а-в – влаштування ґрунтоцементного елемента; г – занурення арматурного каркасу;

д – від'єднання знімних ножів ; е – підйом штанг

(1 – ґрунтоцементний елемент; 2 – пустотіла штанга для подачі цементного розчину; 3 – насадка для розпушування ґрунту; 4 – знімний ніж на внутрішній штанзі; 5 – зовнішня штанга; 6 – каркас)

Рисунок 3 – Схема влаштування армованого ґрунтоцементного елемента

Джерело: розроблено авторами

Висновки. Існуючі методи не завжди дозволяють провести надійне армування ґрунтоцементних елементів. Так, армування прокатними профілями, з одного боку, не може забезпечити надійність проектного положення профіля у ґрунтоцементному елементі, з іншого боку призводить до нерівномірного розподілу напружень по перерізу елемента. концентрації арматури.

Армування елементів каркасом значно ефективніше, оскільки таким способом забезпечують більш рівномірний розподіл напружень по перерізу і значно зменшують витрати металу, однак існуючими методами занурити каркас на потрібну глибину неможливо.

Застосування розробленої методики армування ґрунтоцементних елементів дозволить виконувати їх армування просторовим каркасом на значну глибину, що, у свою чергу, значно розширить сферу їх застосування при підсиленні основ, складених слабкими ґрунтами.

Список літератури

1. Зоценко М. Л. та ін. *Інженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти : підручник для студентів вищих навчальних закладів / за ред. М. Л. Зоценка*. Полтава : ПНТУ, 2004. 562 с.
2. Shibazaki M. State of practice of jet grouting. *Geotechnical Special Publication. Grouting and Ground Treatment*. 2003. Vol. 1. P. 198–217. DOI: [https://doi.org/10.1061/40663\(2003\)7](https://doi.org/10.1061/40663(2003)7).
3. Njock P. G. A., Chen J., Modoni G., Arulrajah A., Kim Y. H. A review of jet grouting practice and development. *Arabian Journal of Geosciences*. 2018. Vol. 11, № 20. P. 1–31. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3809-7>.
4. Tornaghi R., Pettinaroli A. Design control criteria of jet grouting treatment. *Symposium International sur l'Amélioration des Sols en Place* (Paris, France). 2004.
5. Croce P., Flora A., Modoni G. *Jet grouting: technology, design and control*. New York : CRC Press, Taylor & Francis Group, 2014. 305 с.
6. Зуєвська Н. В., Шайдецька Л. В., Губашова В. Є. Перспективи застосування струменево-цементацийного закріплення ґрунтових основ. *Геоінженерія*. 2020. № 3. С. 13–19. DOI: <https://doi.org/10.20535/2707-2096.3.2020.219322>.
7. Зоценко М. Л. Ґрунтоцемент – конструктивний і гідроізоляційний матеріал при будівництві підземних споруд. *Будівельні конструкції*. 2016. Вип. 83 (2). С. 296–316. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/buko_2016_83\(2\)_37](http://nbuv.gov.ua/UJRN/buko_2016_83(2)_37).
8. Кірічек Ю. А., Комісаров Г. В. Конструкції з ґрунтоцементу для зведення фундаментів будівель і споруд. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2019. № 3. С. 42–50. DOI: 10.30838/J.BBPSACEA.2312.040719.42.462.
9. Зоценко М. Л., Винников Ю. Л., Зоценко В. М. *Бурові ґрунтоцементні палі, які виготовляються за бурозмішувальним методом : монографія*. Харків : Друкарня Мадрид, 2016. 94 с.
10. Zotsenko N., Vynnykov Yu., Zotsenko V. Soil-cement piles by boring-mixing technology. *Energy, energy saving and rational nature use*. Oradea : Oradea University Press, 2015. P. 192–253.
11. Блащук Н. В., Маєвська І. В., Гончарук М. С. Використання золи виносення у складі ґрунтоцементу. *Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві*. 2020. № 2. С. 51–65. DOI: 10.31649/2311-1429-2020-2-51-65.
12. Михайловська О. В. Технологія влаштування ґрунтоцементних блоків з добавкою золи. *Вісник Львівського торгівельно-економічного університету. Технічні науки*. 2022. № 31. С. 14–18. DOI: <https://doi.org/10.36477/2522-1221-2022-31-02>.
13. Zotsenko M., Mykhailovska O., Shirinzade I., Lartseva I. Influence of fly ash additives on strength characteristics of soil–cement as a material for waste storage construction. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2022. P. 457–464.
14. Маєвська І. В., Очеретний В. П., Гончарук М. С. Визначення впливу добавок золи виносення на властивості ґрунтоцементу. *Інноваційні технології в будівництві : міжнар. наук.-техн. конф.* (Вінниця, 2018). Вінниця : ВНТУ, 2018. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2018/paper/view/6020>.
15. Новицький О. П. Вплив пластифікуючих добавок на міцність ґрунтоцементу. *Зб. наук. пр. (Галузеве машинобудування, будівництво)*. Полтава : ПолтНТУ, 2012. Вип. 4 (34). С. 171–177.
16. Marchenko V., Nesterenko T. Influence of vibration time during preparation soil-cement piles on their bearing capacity. *Conference reports materials «Problems of energy saving and nature use 2013»*. Budapest, 2014. P. 78–83.
17. Novytskyi O. Soil-cement piles fiber reinforced. *Theory and Building Practice*. 2021. Vol. 3, № 1. P. 113–119. DOI: <https://doi.org/10.23939/jtbp2021.01.113>.
18. Bondar V., Bondar L., Petrash O. Reinforcement corrosion characteristics with periodical profile. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. Vol. 7, № 3.2. P. 575–579.
19. Петраш Р. В., Петраш О. В., Кальченко Т. С. Технологічні особливості процесу армування ґрунтоцементних палей. *Проблеми сучасного будівництва : матеріали Всеукр. конф. молодих учених і аспірантів* (Полтава, 17 груд. 2014 р.). Полтава : ПолтНТУ, 2014. С. 263.

References

1. Blashchuk, N. V., Maievskaya, I. V., & Honcharuk, M. S. (2020). Use of fly ash in soil–cement composition. *Modern Technologies, Materials and Structures in Construction*, 2, 51–65. <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2020-2-51-65> [in Ukrainian].
2. Bondar, V., Bondar, L., & Petrash, O. (2018). Reinforcement corrosion characteristics with periodical profile. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(3.2), 575–579.
3. Croce, P., Flora, A., & Modoni, G. (2014). *Jet grouting: Technology, design and control*. New York: CRC Press, Taylor & Francis Group.
4. Kirichek, Yu. A., & Komissarov, H. V. (2019). Structures made of soil–cement for construction of building foundations. *Bulletin of Prydniprovskaya State Academy of Civil Engineering and Architecture*, 3, 42–50. <https://doi.org/10.30838/J.BBPSACEA.2312.040719.42.462> [in Ukrainian].

5. Marchenko, V., & Nesterenko, T. (2014). Influence of vibration time during preparation soil–cement piles on their bearing capacity. In *Conference reports materials “Problems of energy saving and nature use 2013”* (p. 78–83). Budapest.
6. Maievska, I. V., Ocheretnyi, V. P., & Honcharuk, M. S. (2018). Determination of the influence of fly ash additives on the properties of soil–cement. In *Innovative technologies in construction: International scientific-technical conference* (Vinnytsia, Ukraine). Vinnytsia: VNTU. <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2018/paper/view/6020> [in Ukrainian].
7. Mykhailovska, O. V. (2022). Technology of arranging soil–cement blocks with fly ash additives. *Bulletin of Lviv University of Trade and Economics. Technical Sciences*, 31, 14–18. <https://doi.org/10.36477/2522-1221-2022-31-02> [in Ukrainian].
8. Njock, P. G. A., Chen, J., Modoni, G., Arulrajah, A., & Kim, Y. H. (2018). A review of jet grouting practice and development. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(20), 1–31. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3809-7>
9. Novitskyi, O. P. (2012). Influence of plasticizing additives on soil–cement strength. *Collected Scientific Works (Industry Engineering, Construction)*, 4(34), 171–177 [in Ukrainian].
10. Novytskyi, O. (2021). Soil–cement piles fiber reinforced. *Theory and Building Practice*, 3(1), 113–119. <https://doi.org/10.23939/jtbp2021.01.113>
11. Petrash, R. V., Petrash, O. V., & Kalchenko, T. S. (2014, December 17). Technological features of the soil–cement pile reinforcement process. In *Problems of modern construction: Proceedings of the All-Ukrainian Conference of Young Scientists and Postgraduates* (p. 263). Poltava: PoltNTU [in Ukrainian].
12. Shibazaki, M. (2003). State of practice of jet grouting. *Geotechnical Special Publication. Grouting and Ground Treatment*, 1, 198–217. [https://doi.org/10.1061/40663\(2003\)7](https://doi.org/10.1061/40663(2003)7)
13. Tornaghi, R., & Pettinaroli, A. (2004). Design control criteria of jet grouting treatment. In *Symposium International sur l'Amélioration des Sols en Place* (Paris, France).
14. Zotsenko, M. L., Vynnykov, Yu. L., & Zotsenko, V. M. (2016). *Bored soil–cement piles manufactured by boring–mixing method: Monograph*. Kharkiv: Drukarnia Madrid [in Ukrainian].
15. Zotsenko, M., Mykhailovska, O., Shirinzade, I., & Lartseva, I. (2022). Influence of fly ash additives on strength characteristics of soil–cement as a material for waste storage construction. In *Lecture Notes in Civil Engineering* (pp. 457–464). Springer.
16. Zotsenko, N., Vynnykov, Yu., & Zotsenko, V. (2015). Soil–cement piles by boring–mixing technology. In *Energy, energy saving and rational nature use* (pp. 192–253). Oradea: Oradea University Press.
17. Zotsenko, M. L. (2016). Soil–cement as a structural and waterproofing material in underground construction. *Building Constructions*, 83(2), 296–316. [nbuv.gov.ua/UJRN/buko_2016_83\(2\)_37](http://nbuv.gov.ua/UJRN/buko_2016_83(2)_37) [in Ukrainian].
18. Zotsenko, M. L. (Ed.). (2004). *Engineering geology. Soil mechanics, foundations and foundations: Textbook for students of higher educational institutions*. Poltava: PNTU [in Ukrainian].
19. Zuievskaya, N. V., Shaidetska, L. V., & Hubashova, V. Ye. (2020). Prospects for the use of jet–cement soil strengthening. *Geoengineering*, 3, 13–19. doi.org/10.20535/2707-2096.3.2020.219322 [in Ukrainian].

Serhii Bida, Assoc. Prof., PhD tech. sci, Oleksandr Petrash, Assoc. Prof., PhD tech. sci,

Ruslan Petrash, Assoc. Prof., PhD tech. sci

Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine

Reinforcement Efficiency of Soil-Cement Elements Manufactured by Deep Soil Mixing Technology

The construction of buildings with significant loads on the foundation and the use of areas of loose soils for construction requires builders to take measures to increase the bearing capacity of the foundation. In recent years, considerable attention has been paid to the development of technologies for strengthening the foundation soils, which ultimately allows the use of shallow foundations. One of these areas is the arrangement of soil-cement elements using various technologies. The article focuses on increasing the bearing capacity of soil-cement elements manufactured using deep soilmixing technology.

The construction of soil-cement elements is possible using various technologies, but the deep soil mixing technology has a number of advantages, including high mobility of the equipment complex, the ability to work in constrained conditions, easy variation of soil-cement elements parameters by using replaceable equipment, minimal impact on the environment and workers in terms of occupational safety, independence of the technological process from external factors, the ability to constantly monitor material consumption This method of producing soil-cement elements by mixing without removing the soil makes it possible to perform work without using casing or other measures to ensure the stability of a borehole.

However, as foundation construction practice has shown, the main disadvantage of soil-cement elements is their relatively low material strength. Increasing the strength of soil-cement elements is possible in various ways - by adding more cement, plasticizing or other additives, fly ash, vibration, reinforcement with synthetic materials, etc. However, the most effective way to increase the bearing capacity is to reinforce them with rolled profiles or spatial frames. Reinforcement with frames is more effective, but immersion of the frame in soil cement is problematic, so the paper proposes a method of immersion of the frame that allows increasing the depth of reinforcement of soil cement elements.

ground improvement, soil-cement, deep soil mixing technology, reinforcement

Одержано (Received) 26.05.2025

Прорецензовано (Reviewed) 13.08.2025

Прийнято до друку (Approved) 27.08.2025