УДК 693.542.4
DOI https://doi.org/10.32782/2664-0406.2023.43.3

Назаренко О.М.
к.т.н., доцент, завідувач кафедри «Будівельне виробництво та управління проєктами»,
Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя

Левченко Н.М.
д.держ.упр., професор кафедри «Будівельне виробництво та управління проєктами»,
Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя

Резниченко А.О.
здобувач кафедри «Будівельне виробництво та управління проєктами»,
Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя

Березовська А.О.,
асистент кафедри «Будівельне виробництво та управління проєктами»,
Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя

ВПЛИВ КОМПЛЕКСНИХ ДОМІШОК НА ПОКАЗНИКИ ҐРУНТОЦЕМЕНТНИХ КОНСТРУКЦІЙ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ТЕХНОЛОГІЇ DSM

Анотація. *У статті констатовано, що пріоритетним напрямком відбудови України є будівництво нових об'єктів за новітніми менш інвестиційно- та ресурсномісткими технологіями, зокрема, за технологією DSM (Domain-Specific Modeling). Розкрито суть даної технології та наголошено, що результатом її застосування є трансформація породи в ґрунтоцементний масив, який протягом незначного часу набуває високої міцності і протифільтраційних характеристик. Підкреслено переваги та недоліки технології DSM. Акцентовано, що якщо в теплий період року можливо досягнення необхідних покращених показників ґрунтоцементу додавши більше самого цементу, або за рахунок збільшення потужності бурової установки під час буріння для отримання гомогенної структури, то при низьких температурах зробити це значно важче. Розглянуто можливість значного покращення властивостей ґрунтоцементних паль та доведення їх структури до більш однорідної маси у вигляді монолітної плити за рахунок комплексних домішок. Досліджено перелік заходів щодо отримання ґрунтів із необхідною міцністю завдяки додаванню спеціальних комплексних домішок. Обґрунтовано та перевірено під час експеременту конструктивно-технологічне рішення щодо додавання до ґрунтоцементну, зокрема, пластифікаторів. Наведено експерементальні дані технічних властивостей ґрунтоцементну до та після використання комплексних домішок з додаванням пластифікаторів, заснованих на полікарбоксилаті, що відповідають ДСТУ Б.В.2.7-171:2008 «Будівельні матеріали. Добавки для бетонів і будівельних розчинів. Загальні технічні умови (EN 934-2:2008, NEQ)». Обґрунтовано, що ґрунтоцементні палі з додаванням пластифікаторів забезпечують зміцнення (стабілізацію) ґрунту та сприяють мінімальному усадженню фундаментів. Визначено перспективи подальших досліджень щодо виготовлення ґрунтоцементних паль з низьким вмістом цементу, які забезпечать як прискорення термінів тверднення ґрунтоцементної суміші, так і збільшення гідроізоляційних властивостей паль.*

Ключові слова: ґрунтоцемент, палі, гомогенність, технологія, пластифікатор, міцність, гідроізоляція, фундамент.

Постановка проблеми. Внаслідок військової агресії рф проти України зруйновано та пошкоджено велику кількість виробничих об'єктів. Серйозно постраждали і житлові будинки та цивільна інфраструктура. Тож, наразі пріоритетним напрямком відбудови України є будівництво нових об'єктів за новітніми менш інвестиційно- та ресурсномісткими

технологіями [1]. І однією з таких є технологія із застосуванням ґрунтоцементних конструкцій (паль).

Аналіз останніх досліджень свідчить, що питання використання у будівництві ґрунтоцементних конструкцій досліджується науковцями досить активно, втім підходи щодо їх вивчення досить різняться. Зокрема, Савицький М.В., Бендерський Ю.Б., Новіченко Н.В., Бабенко М.М. та Коваль А.С. [2] розглядають застосування ґрунтоцементних конструкцій за екопідходом, тобто як елемент екобудівництва. Кірічек Ю.О. [3] досліджує ґрунтоцементні конструкції за параметричним підходом, завдяки застосуванню якого науковцем встановлено вплив параметрів ґрунтоцементу на роботу системи «споруда – фундамент – ґрунтоцементна основа» та доведено доцільність застосування ґрунтоцементних конструкцій для зміцнення слабких, водонасичених та лесових 1 типу просідання ґрунтах [4]. Зоценко М.Л., Петраш Р.В., Петраш О.В., Попович Н.М. [4] при вивченні ґрунтоцементних конструкцій керуються техпідходом, Новицький О.П. та Солонін О.С. [5] – ресурсоефективним, що дозволило визначити вплив пластифікуючих добавок на міцність ґрунтоцементу. Відтак, навіть цей короткий аналіз свідчить проте, що ґрунтоцементні конструкції набувають все більшої популярності та широкого застосування, як ефективний і економічний метод підсилення ґрунтової основи недостатньої міцності. Втім, процес над їх вдосконаленням постійно триває, що саме і підкреслює актуальність обраної для дослідження тематики.

Мета роботи полягає у обґрунтуванні доцільності застосування комплексних добавок (пластифікаторів) при виготовленні ґрунтоцементних паль з низьким вмістом цементу, які забезпечать як прискорення термінів тверднення ґрунтоцементної суміші, так і збільшення гідроізоляційних властивостей палі.

Результати дослідження. Зміцнення (стабілізація) ґрунту є одним із найскладніших і трудомістких процесів у всій будівельній індустрії, оскільки вимагає правильного визначення як наявних на ділянці факторів, що згубно впливають на монолітність ґрунту (зокрема, рихлість ґрунтового покриву, кут схилу, сусідство ґрунтових вод, імовірність зсувів, осипання тощо), так і складу комплексних домішок у ґрунт. Тож, беручи до уваги особливості інженерно-геологічних умов Запорізького регіону, а саме Гуляйпільської акумулятивної лесової рівнини, що виділяється в межах Запорізької рівнини Українського кристалічного щита, де ґрунти з достатньою несучою здатністю розташовані значно нижче відмітки поверхні, зазначимо, що для улаштування такого типу фундаментів використовують забивні, буронабивні, ін'єкційні палі. Але на сьогоднішній день все більшою альтернативою використання бетонних паль є безвибурні ґрунтоцементні елементи (палі) за технологією DSM.

Технологія DSM з виготовлення ґрунтоцементних паль базується на концепції покращення міцнісних якостей ґрунтів шляхом їх змішування з в'яжучими матеріалами (зокрема, цементним розчином з додаванням пластифікатору, цементно-зольною суспензією, бентонітової суспензії тощо). Виготовлення ґрунтоцементних паль за даною технологією передбачає відсутність щебеня, піску та дозволяє виконувати покращення міцнісних та деформаційних характеристик існуючого ґрунту при механічному змішуванні його з водоцементним розчином або іншим проектним в'яжучим за допомогою бурового інструменту [6].

Суть даної технології полягає в зміцненні ґрунту шляхом зміни його фізико-механічних властивостей під впливом струменя цементного розчину з додаванням у нього комплексних домішок, тобто руйнування породи з одночасним перемішуванням ґрунту і стабілізуючого розчину в форматі mix-in-place (англ. «змішування на місці») (рис. 1).

Результатом застосування такої технології стає трансформація породи в ґрунтоцементний масив, що набуває за нетривалий час високу міцність і протифільтраційні характеристики. Відтак, дана технологія не тільки відрізняється ефективністю, але і дозволяє економити ресурси, одночасно виконуючи дві технологічні операції. За своєю будовою буровий інструмент для виготовлення та улаштування ґрунтоцементних паль відрізняється від стандартного через наявність каналу для подачі стабілізуючого розчину. Досягнувши кінця шнека, бетонний розчин подається у внутрішній простір монітора – спеціального пристрою, сполученого з буровим долотом. Монітор обладнаний форсунками, що перетворюють енергію високого тиску в кінетичну енергію потоку, що руйнує і перемішує породу [6].

Виходячи з вищевикладеного, застосування ґрунтоцементних паль за технологією DSM має наступні переваги:

Рис. 1. Виготовлення безвибурних ґрунтоцементних елементів (паль) за технологією DSM [6]

– відсутність вібрацій, що дозволяє застосовувати в місцях з високою концентрацією будівель і в житлових районах;

– економічні через скорочення витрат на 15–20% від загальної вартості будівництва, а відтак, і зростання рентабельності виготовлення фундаменту;

– екологічні через відсутність бурових відходів та вивезення ґрунту з місця робіт;

– часові через прискорене твердіння ґрунтоцементної суміші;

– незначне осідання тощо.

Втім, якщо в теплий період року можливо досягнення необхідних покращених показників ґрунтоцементу додавши більше самого цементу, або за рахунок збільшення потужності бурової установки під час буріння для отримання гомогенної структури, то при низьких температурах зробити це значно важче. Саме в ці періоди слід додавати пластифікатор для отримання вище перелічених властивостей ґрунтоцементних конструкцій. Пластифікатори за своєю структурою володіють високою адсорбційною здатністю, добре «уживаються» з марками цементу, незважаючи на їх різний мінералогічний склад. Підвищують текучість цементної суміші, що в подальшому сприяє більш ретельному перемішуванню ґрунту з цементом та отриманню конструкції з однорідною структурою в перетині. В якості пластифікатору був обраний SikaPlast®-520 на основі полікарбоксілату, який відповідає ДСТУ Б. В.2.7-171:2008 «Будівельні матеріали. Добавки для бетонів і будівельних розчинів. Загальні технічні умови (EN 934-2:2008, NEQ)» [7].

Фізико-хімічні характеристики пластифікаторів наведені у таблиці 1.

Таблиця 1. Фізико-хімічні властивості пластифікаторів [8]

Найменування характеристики	Показники
Основа	полікарбоксилат
Щільність, кг/л	1,155±0,02
Рівень pH	5,0±1.0
Концентрація розчину, %	35,0±1,5
Вміст хлоридів, %	0,1
Вміст лугів (Na2O-екв), %	1,0

Ґрунт, що використовувався для досліджень та безпосередньо в якому проводились роботи з виготовлення ґрунтоцементних паль, був відібраний безпосередньо з глибини до 10,0 м з будівельного майданчика, призначеного для будівництва силосів V=10300.00м^3 зі зберігання насіння соняшнику за проектом «Реконструкція об'єкту приймання та підготовки до переробки насіння соняшника», що реалізувався ПАТ «Запорізький оліяжиркомбінат» м. Запоріжжя.

Джерелом для визначення характеристик ґрунтів був наданий Технічний звіт з інженерно-геологічних вишукувань. Звіт було виконано ТОВ НДПВІ «Полтавагропроект» [9].

Таблиця 2. Розрахункові значення фізико-механічних властивостей ґрунтів [9]

Характеристики	Од. вим.	Номери ІГЕ, значення					
		1	2	3	4	5	6
Питома вага ґрунтів, γ_{II}	кН/м^3	-	15.6	16.7	17.5	18.4	19.8
		-	17.4	17.6	18.2	-	-
Питоме зчеплення, c_{II}	МПа	-	0.017	0.021	0.32	0.29	0.002
Кут внутрішнього тертя, φ_{II}	Град.	-	20	17	16	18	32
Модуль деформації природного стану, Е	МПа	-	7.0	9.5	13.5	11.0	35.0
Модуль деформації заданого стану, Е	МПа	-	5.5	8.0	12.0	11.0	35.0

У геологічній будові під сучасним насипом ІГЕ 1 представлений комплекс четвертинних відкладень лесової формації ІГЕ 2-4, які підстилаються комплексом порід верхнього неогену заплавно-руслової фації – ІГЕ 5-6. У відкладах ділянки за стратиграфічними ознаками, гранулометричним складом і фізико-механічними властивостями виділено 5 інженерно-геологічних елементів (ІГЕ), в межах яких товща є статистично однорідною по складу і властивостям. Розрахункові значення фізико-механічних властивостей ґрунтів, що були досліджені, наведено у таблиці 2.

За результатами інженерно-геологічних вишукувань було виконано оцінку геоморфологічних умов, геологічних і гідрогеологічних факторів в сфері взаємодії споруд із геологічним середовищем, геологічних процесів, що негативно впливають на умови будівництва і експлуатації споруд, за якою надана категорія складності інженерно-геологічних умов-друга (середньої складності).

На ділянці свердловинами викритий єдиний безнапірний водоносний горизонт, рівень якого (РГВ) встановився в період вишукувань (вересень 2017р.) на глибинах 10,0-14,0 м від поверхні землі. Водовміщуючими є ґрунти ІГЕ 5-6. Територія класифікується як техногенно непідтоплюєма за природними причинами. Можливі сезонні коливання рівня з амплітудою до 1,5м [9].

Сумарна просадка суглинків ІГЕ 2-3, розвинених до глибини 10,5 м, склала 14,86 см. Отже, категорія ґрунтових умов по просадності – друга. В цих умовах з метою усунення просадних властивостей ґрунтів рекомендується застосовувати такі заходи:

– ущільнення просадних ґрунтів попереднім замочуванням;

– застосування пальових фундаментів з повною прорізкою просідної товщі;

– водозахисні заходи [9].

За результатами геологічних досліджень був визначений наступний склад ґрунтів з відповідними фізико-хімічними властивостями (рис. 2).

Задля досягнення необхідного ущільнення та зміцнення ґрунту, підготовки його для улаштування фундаментної плити та отримання значного економічного ефекту були обрані ґрунтоцементні елементи (палі). За основу та приклад для визначення впливу комплексних домішок на властивості ґрунтоцементних конструкцій було взято дослідження, проведене на подібному будівельному майданчику зі схожим складом ґрунтів [10].

Для проведення досліду відібраний певний об'єм контрольного складу ґрунтової суміші та визначені показники за його характеристиками. Результати наведено в таблиці 3.

Таблиця 3. Показники готової речовини (авторське дослідження)

Характеристики готового розчину	Зміст розчину
Рухомість готового розчину, мм	⩾280
Рухомість готового розчину через 2 години, мм	⩾280
Щільність готового розчину, кг/м^3	1590
Водовідділення (по масі), %	14
Вихід цементного каменю, %	83,0
Водоцементне відношення розчину	0,8

З даної таблиці видно, що показники готового розчину не відповідають нормативним даним, а водовідведення перевищено більш ніж у шість разів. Вихід цементного каменю є меншим на 17%.

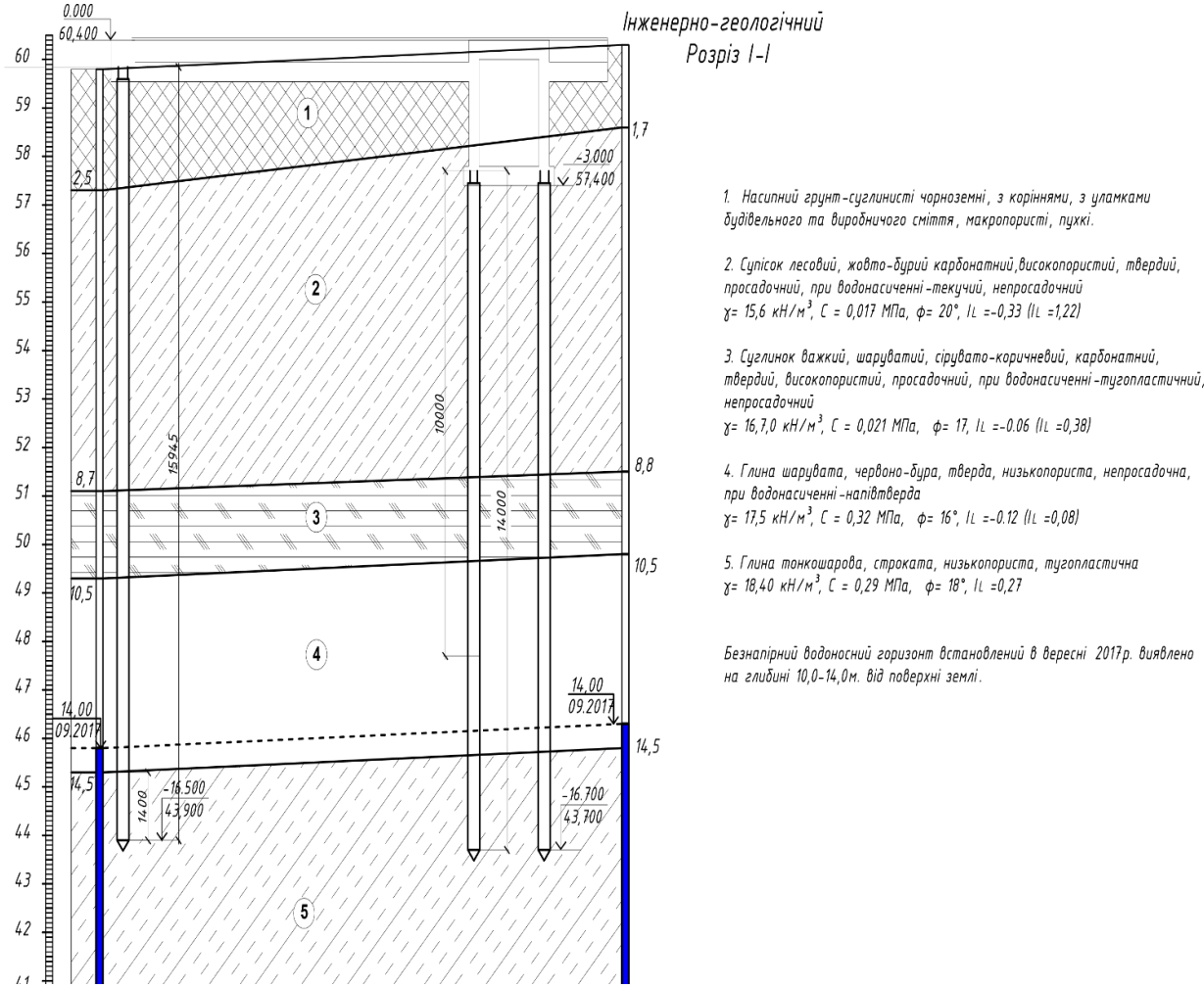

Рис. 2. Інженерно-геологічний розріз із визначеними фізико-хімічними властивостями ґрунтів [9]

Розглянемо властивості компонентів готового розчину та розчину з пластифікатором. У якості в'яжучого використовувався портландцемент ПЦ II/А-Ш-500 з нижчезазначеними технічними характеристиками (табл. 4). Порівняння компонентів готового розчину з додаванням пластифікатору надано у табл. 5.

Таблиця 4. Технічна характеристика портландцементу ПЦ II/А-Ш-500 [11]

Технічна характеристика	Показник
Межа міцності на здавлювання	59,9 МПа
Межа міцності на вигин	до 6,4 МПа
Щільність	3200 кг/м³
Робоча температура	від -60°С до +300°С
Початок схоплювання	після 180 хв.
Клінкер	80% – 94%
Вміст гранульованого шлаку	6% – 20%

Таблиця 5. Порівняння компонентів готового розчину з додаванням пластифікатору (авторське дослідження)

Характеристики готового розчину	Витрати компонентів, кг/м³	
	Контрольний зміст	Зміст з пластифікатором
В'яжуче – Портландцемент ПЦ II/А-Ш-500, кг	885	800
Бентонітовий порошок, кг	0	20
Пластифікатор SikaPlast® -520	0	2% від маси цементу
Вода затворення ГОСТ 23732-79	710	715

Таблиця 6. Показники готового розчину з вмістом пластифікатору (авторське дослідження)

Характеристики готового розчину	Контрольний зміст	Зміст з пластифікатором
Рухомість готового розчину, мм	⩾280	245
Рухомість готового розчину через 2 години, мм	⩾280	230
Щільність готового розчину, кг/м^3	1580	1590
Водовідділення (по масі), %	14	1,7
Вихід цементного каменю, %	83,0	95-98
Водоцементне відношення розчину	0,8	0,89

При застосуванні пластифікатору SikaPlast® -520 вдалося досягнути такого змісту ґрунтоцементної суміші, при якій збільшувалась здатність даної суміші до диспергації, розчеплення та подрібнення крупних часток ґрунту на більш мілкі і досягнення більшої гомогенності ґрунтоцементного каменю.

На будівельному майданчику при виготовленні ґрунтоцементних паль було відібрано два зразки ґрунтоцементної суміші, з додаванням пластифікатору та без його присутності. Суміш була подрібнена та виведена буровою установкою зсередини свердловини. Час роботи шнека бурової установки з однаковою кількістю обертів за хвилину становив 20 хвилин для кожного зразка суміші. Порівняльний аналіз якості перемішування та набирання міцності зразків надано в табл. 7 та табл. 8 відповідно. Якість перемішування визначали за втратою маси залишків нерозмішаного ґрунту.

Таблиця 7. Якість перемішування ґрунтоцементної суміші (авторське дослідження)

Розчин	Показник
Контрольна суміш	Після 20 хвилин роботи бурової установки склад неподрібненого ґрунту склав 35%
Суміш з пластифікатором SikaPlast®-520	Після 20 хвилин роботи бурової установки склад неподрібненого ґрунту склав 12%

Для визначення стандартних характеристик розчину керувались ВСН 132-92. Умови зберігання зразків відповідали державним нормам. В період твердіння та набирання міцності експериментальні зразки проходили випробування на міцність (межу міцності на стиск). Результати досліджень надано в табл. 8.

Таблиця 8. Результати фізико-механічних випробувань ґрунтоцементного розчину (авторське дослідження)

Вид ґрунтоцементної суміші	Міцність зразків, МПа		
	2 доби	4 доби	7 діб
	$R_{сж}$	$R_{сж}$	$R_{сж}$
Контрольний зразок	2,5	3,3	4,8
Зразок з пластифікатором	3,0	5,7	6,8

Існують випадки, коли дослідження проводяться без готового розчину ґрунтоцементу. В таких випадках для надання розчину показників більш подібних до реальних, в суміш додають глини або суглинки.

Висновки. За рахунок застосування пластифікаторів при виготовлені ґрунтоцементних паль в холодну пору року вдалося досягнути більшої їх щільності та однорідності за складом, і в той же час підвищити показники розчину:

– зниження водовідділення розчину до максимального мінімуму;

– вивід ґрунтоцементного каменю майже на 100%;

– покращення гомогенності за складом ґрунтоцементної палі;

– отримання прискореного набору міцності в порівнянні з контрольним зразком;

– покращення реологічних властивостей цементного розчину;

– відсутність хлоридів;

– прискорення темпів набору ґрунтоцементної палі;

– зниження вбирання цементного розчину в ґрунт.

Після виконання серії випробувань та досліджень визначено, що застосування пластифікаторів на основі полікарбоксилату, а саме SikaPlast®-520, дозволяє покращити характеристики ґрунтоцементного розчину з подальшим виготовленням з нього більш якісної та покращеної за міцністю характеристиками палі.

Література

1. Левченко Н.М., Бейнер П.С., Бейнер Н.В. Реконструкція будівель з використанням BIM технологій при відновленні міст в Україні. Металознавство та термічна обробка металів. 2022. № 4(99). С. 64-70.
2. Савицький М.В., Бендерський Ю.Б., Новіченко Н.В., Бабенко М.М. та Коваль А.С. Технології виробництва матеріалів та конструкцій з використанням ґрунтобетону в малоповерховому екобудівництві. *Будівництво. Матеріалознавство. Машинобудування*. Серія: Інноваційні технології життєвого циклу об'єктів житлово-цивільного, промислового та транспортного призначення. 2014. Вип.77. С. 182-194.
3. Кірічек Ю.О., Комісаров Г.В. Конструкції з ґрунтоцементу для зведення фундаментів будівель і споруд. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2019. № 3. С. 51-57.
4. Зоценко М.Л., Петраш Р.В., Петраш О.В., Попович Н. М. Забезпечення ефективної роботи підземних конструкцій інженерних споруд, які виготовлені з ґрунтоцементу. *Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, конструкції та споруди*. Рівне : НУВГП, 2016. Вип. 33. С. 276-282.
5. Новицький О.П., Солонін О.С. Вплив пластифікуючих добавок на міцність ґрутоцементу. Збірник наукових праць Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. 2012. Вип. 4(2). С. 171-177.
6. Сучасні технології Menard. URL: https://menard.com.ua/ (дата звернення 10.10.2023).
7. ДСТУ Б В.2.7-171:2008 Будівельні матеріали. Добавки для бетонів і будівельних розчинів. Загальні технічні умови (EN 934-2:2008, NEQ). URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=56328 (дата звернення 13.10.2023).
8. AKS-YUG SYSTEMA TOV. URL: https://systema.dp.ua/ (дата звернення 24.10.2023).
9. ТОВ "НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ПРОЕКТНО-ВИШУКУВАЛЬНИЙ ІНСТИТУТ" ПОЛТАВАГРОПРОЕКТ. URL: https://www.agropro.in.ua/ (дата звернення 06.11.2023).
10. Комплексна добавка для струйної цементації. URL: https://prezi.com/ktmthql1ouwf/presentation (дата звернення 13.11.2023).
11. ДСТУ Б В.2.7-46-96. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови. Зміна № 1 (32326). URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=4871 (дата звернення 13.11.2023).

References

1. Levchenko N.M., Beiner P.S., Beiner N.V. (2022). Reconstruction of buildings using VIM technologies during the reconstruction of cities in Ukraine. Metallurgy and heat treatment of metals. Vol. 4(99). Pp. 64-70.
2. Savytskyi M.V., Benderskyi Y.B., Novichenko N.V., Babenko M.M. and Koval A.S. (2014). Technologies for the production of materials and structures using precast concrete in low-rise eco-construction. Construction. Materials science. Engineering. Series: Innovative technologies of the life cycle of residential, civil, industrial and transport objects. Vol. 77. Pp. 182-194.
3. Kirichek Yu.O., Komissarov G.V. (2019). Soil-cement constructions for building foundations of buildings and structures. Bulletin of the Dnipro State Academy of Construction and Architecture. Vol. 3. Pp. 51-57.
4. Zotsenko M.L., Petrash R.V., Petrash O.V., Popovych N.M. (2016). Ensuring the effective operation of underground structures of engineering structures made of soil cement. Resource-economical materials, constructions, constructions and buildings. Rivne: NUVHP. Vol. 33. Pp. 276-282.
5. Novitsky O.P., Solonin O.S. (2012). Influence of plasticizing additives on the strength of soil cement. Collection of scientific papers Poltava National Technical University named after. Y. Kondratyuk. Vol. 4(2). Pp. 171-177.
6. Modern technologies Menard. URL: https://menard.com.ua/ (date of application 10.10.2023).
7. DSTU B V.2.7-171:2008 Construction materials. Additives for concrete and building structures. General technical specifications (EN 934-2:2008, NEQ) URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=56328 (date of application 13.10.2023).
8. AKS-YUG SYSTEMA TOV. URL: https://systema.dp.ua/ (date of application 24.10.2023).
9. POLTAVAGROPROEKT RESEARCH AND DESIGN INSTITUTE. URL: https://www.agropro.in.ua/ (date of application 06.10.2023).
10. Complex additive for jet cementation. URL: https://prezi.com/ktmthql1ouwf/presentation (date of application 13.10.2023).
11. DSTU B V.2.7-46-96. Construction materials cements for general construction purposes technical specifications (32326) URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=4871 (date of application 13.10.2023).

THE INFLUENCE OF COMPLEX ADMIXTURES ON INDICATORS OF SOIL-CEMENT STRUCTURES USING DSM TECHNOLOGY

Abstract. *The article stated that the priority direction of the reconstruction of Ukraine is the construction of new facilities using the latest less investment- and resource-intensive technologies, in particular, the DSM (Domain-Specific Modeling) technology. The essence of this technology is revealed and it is emphasized that the result of its application is the transformation of the rock into a soil-cement massif, which acquires high strength and anti-filtration characteristics within a short period of time. Advantages and disadvantages of DSM technology are highlighted. It is emphasized that if in the warm period of the year it is possible to achieve the necessary improved indicators of soil cement by adding more cement itself, or by increasing the power of the drilling rig during drilling to obtain a homogeneous structure, then at low temperatures it is much more difficult to do so. The*

possibility of significantly improving the properties of soil-cement piles and bringing their structure to a more homogeneous mass in the form of a monolithic slab due to complex additives was considered. The list of measures to obtain soils with the necessary strength due to the addition of special complex additives was studied. During the experiment, the constructive-technological decision regarding the addition of plasticizers to soil-cement, in particular, was substantiated and verified during the experiment. Experimental data on the technical properties of soil cement before and after the use of complex admixtures with the addition of polycarboxylate-based plasticizers, which correspond to DSTU B.V.2.7-171:2008 "Building materials. Additives for concrete and mortars. General technical conditions (EN 934-2:2008, NEQ)". It is well-founded that soil-cement piles with the addition of plasticizers provide strengthening (stabilization) of the soil and contribute to minimal settlement of the foundations. Prospects for further research on the production of soil-cement piles with a low cement content have been determined, which will ensure both acceleration of the hardening time of the soil-cement mixture and an increase in the waterproofing properties of the piles.

Key words: soil cement, piles, homogeneity, technology, plasticizer, strength, waterproofing, foundation.

Nasarenko O.M.
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Construction Production and Project Management,
National University "Zaporizhzhia Polytechnic", Zaporizhzhia

Levchenko N.M.
Doctor of Science in Public Administration, Professor at the Department of Construction Production and Project Management,
«Zaporizhzhia Polytechnic» National University, Zaporizhzhia

Reznychenko A.O.
Master Student at the Departament of Construction Production and Project Management,
«Zaporizhzhia Polytechnic» National University, Zaporizhzhia

Berezovska A.A.
Assistant at the Department of Construction Production and Project Management,
National University "Zaporizhzhia Polytechnic", Zaporizhzhia