

С. Й. Солодкий, Н. І. Топилко, Ю. В. Турба, О. Я. Гримак, Ю. Л. Новицький
Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра автомобільних доріг та мостів

ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ ЦЕМЕНТОГРУНТУ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЙОГО ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ

© Солодкий С. Й., Топилко Н. І., Турба Ю. В., Гримак О. Я., Новицький Ю. Л., 2017

Для забезпечення довготривалої міцності та підвищення несучої здатності глинистих ґрунтів рекомендовано проводити їх зміцнення в'язучими матеріалами: вапном та цементом. Для забезпечення надійності основи пропонують виконувати ущільнення ґрунту до максимального значення щільності скелету ґрунту при вологості, яка відповідає максимальній кількості зв'язаної води. Основні показники якісного ущільнення ґрунту встановлювали шляхом лабораторних випробувань за тестом Проктора (ASTM D 698-91). Для подальшого вивчення впливу в'язучих матеріалів на фізико-механічні показники ґрунту, були проведені випробування визначення міцності на стиск зразків ґрунту у віці 14 та 28 діб. Доведено, що такий матеріал володіє вищою міцністю та здатний витримувати 14 циклів заморожування та відтавання без руйнування структури та деяким збереженням міцності. На основі цих даних підібрано оптимальний склад цементогрунту.

Ключові слова: цементогрунт, максимальна щільність сухого ґрунту, оптимальна вологість ґрунту, границя міцності на одноосовий стиск.

S. Solodky, N. Topylko, Yu. Turba, O. Hrymak, Y. Novytskij
Lviv Polytechnic National University,
department of Highways and Bridges

OPTIMIZATION OF THE CEMENT COMPOUNDS WITH THE AIM OF INCREASE OF ITS PHYSICAL-MECHANICAL INDICATORS

© Solodky S., Topylko N., Turba Yu., Hrymak O., Novytskij Y., 2017

In order to ensure long-term durability and increase the bearing capacity of clay soils, it is recommended to strengthen them with binder materials. For this purpose, lime and cement are used as binder materials. In order to ensure the reliability of the base, it is recommended to compact the soil to the maximum value of the soil skeleton density at humidity, which corresponds to the maximum number of bound water. The main indicators of good soil compaction (maximum soil particle density, which corresponds to the optimal soil moisture content) were determined by laboratory tests on Proctor's test (ASTM D698-91). For further study of the influence of binder materials on the physical and mechanical parameters of the soil, the tests for the determination of strength on the compression of soil samples at the age of 14 and 28 days were carried out. It is proved that such material has a higher strength and can withstand 14 cycles of freezing and thawing without destroying the structure and some preservation of the strength, due to the creation of high-alumina environment in which the strong water-resistant minerals are synthesized. On the basis of these data, the optimal composition of soil cement was selected.

Key words: soil cement, maximum density of dry soil, optimal soil moisture, ultimate tensile strength of the uniaxial compression.

Вступ. У дорожньому будівництві стали поширеними ґрунти, укріплені цементом – цементогрунт. Позитивною властивістю цементогрунту є утворення в основі земляного полотна

міцної монолітної плити, яка має достатню несучу здатність і жорсткість та здатна сприймати силові дії від рухомого навантаження. Науковими дослідженнями встановлено, що у ґрунти зі значним вмістом гумусу або (та) підвищеною вологістю доцільно вводити вапно, що дозволяє знизити вологість та підвищити міцність ґрунту-основи. Також, однією з умов довготривалої служби автомобільної дороги є якісне ущільнення ґрунту з метою покращення його будівельних властивостей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У випадку будівництва доріг на структурно-нестійких ґрунтах необхідно проводити низку заходів щодо їх зміцнення. Існує чимало методів зміцнення слабких ґрунтів. Так, для глинистих ґрунтів добре себе зарекомендував метод зміцнення в'язучими матеріалами. При введенні в ґрунт в'язучих матеріалів, останні активно вступають у хімічну і фізико-хімічну взаємодію з тонкодисперсними частками глинистого ґрунту, внаслідок чого утворюється штучний матеріал – цементоґрунт із покращеними фізико-механічними властивостями [1].

Повнота проходження хімічних реакцій між ґрунтом і цементом залежатиме від вологості, вмісту (%) в'язучої речовини, ступення однорідності та ущільнення цементо-ґрунтової суміші, тривалості твердіння ущільненого матеріалу, температури та вологості навколишнього середовища [1, 2]. У випадку недостатньої вологості цементо-ґрунтової суміші вже у затверділому матеріалі можна спостерігати високий вміст непрореагованих зерен в'язучого, котрі виконують роль інертного заповнювача. За вмісту води понад норму, необхідну для проходження хімічної реакції між цементом та ґрунтом, в матеріалі формується висока кількість пор, а при його висушуванні розвиваються деформації усадки. В обох випадках виготовлений цементоґрунт буде характеризуватися низькою міцністю, високою водопроникністю і низькою морозостійкістю. Крім того, від вологості цементо-ґрунтової суміші залежить її здатність до ущільнення під навантаженням. Встановлено, що концентрація цементу є оптимальною до певної величини. За вищих значень значно зростають деформації усадки і утворення тріщин у цементоґрунті.

Ступінь однорідності суміші залежить від режиму перемішування її компонентів, технологічних характеристик техніки. При цьому, що вища дисперсність, то складніше отримати гомогенну (однорідну) структуру цементоґрунту через утворення флокул – пухких грудок-агрегатів з оболонкою із цементу і ядром із ґрунту. Це викликає анізотропію (неоднаковість) властивостей отриманого матеріалу і низьку його якість [1].

Ступінь ущільнення суміші істотно впливає на процеси структуроутворення в цементоґрунті, його пористість, водо- і морозостійкість, механічну міцність, і, в кінцевому результаті, на його довговічність. При максимальному ущільненні суміші з її об'єму витісняється надлишкове повітря, зменшується товщина водяних плівок, перерозподіляється рідка фаза і тверді частки, в результаті чого формується щільніша упаковка, зростає кількість і площа контактів між цементом і ґрунтом [3].

Головними хімічними, фізико-хімічними факторами, що впливають на якість цементоґрунту, є: мінеральний і гранулометричний склад ґрунту, його органічна складова, РН реакція середовища [1]. Глинисті ґрунти характеризуються полімінеральним складом, в який входять, головним чином, уламкові (піщані), пилюваті частки і тонкодисперсні глинисті мінерали. Особливий вплив на якість цементоґрунту мають глинисті мінерали [4].

Основними мінералами глин є каолініт, монтморилоніт, гідрослюда, рідше трапляються польові шпати і хлорити. При цьому характер взаємодії ґрунтів з в'язучими і міцність одержуваного матеріалу залежить і від виду переважаючого мінералу, і від його кількісного співвідношення в складі ґрунтів [1]. Серед глинистих мінералів переважає каолініт. Це доволі стійкий двошаровий мінерал, що має жорстку кристалічну решітку і характеризується низьким ступенем набухання при зволоженні водою, а також невисокою іонно-обмінною здатністю. [6].

Найменш сприятливим є монтморилоніт, оскільки він володіє високою поглинальною здатністю (може в 10–20 разів збільшувати свій об'єм при зволоженні), високою дисперсністю (його розміри, як правило, перебувають у межах до 1 мкм), дуже високою пластичністю [7]. При вмісті монтморилоніта більше ніж 50 % від загальної маси у ґрунт додають легкорозчинні солі,

поверхнево-активні речовини, кремнійорганічні сполуки та ін. Вони адсорбуються на поверхні глинистих часток і утворюють захисні плівки, що перешкоджають набуханням монтморилонітових глинистих фракцій при їх зволоженні [1].

Домішки у глинистих породах поділяють за таким типом: карбонатні, загіпсовані, з рослинними залишками (з вмістом 5–10 %) і ін. Ступінь карбонатності ґрунтів, передусім, впливає на значення їх міцності, оскільки високодисперсні карбонати утворюють міцні слаботорозчинні кристалізаційні зв'язки між частками глинистих ґрунтів. Вміст лужних реагентів (цементу, вапна) позитивно впливає на перебіг хімічних реакцій між компонентами цементно-ґрунтової суміші та отримання міцних цементоґрунтів. А от кислі реагенти створюють протилежну дію [1].

Органічна складова ґрунту представлена гумусом та є небажаною у їх складі, особливо, при зміцненні ґрунтів лужними реагентами, бо гумус встановлює кисле середовище ($\text{pH} < 6$) [8].

Багаторічні дослідження Держдор НДІ України показали, що міцність дорожніх одягів з прошарками із зміцненого ґрунту не нижча, а в багатьох випадках вища, міцності дорожніх одягів з основами із щебеню та гравію. При цьому, рівність покриття, як правило, набагато вища, ніж на основах із кам'яних зернистих матеріалів. Окрім того, технологічні операції із влаштування основ з зміцнених ґрунтів прості у виконанні та можуть бути повністю механізовані. В результаті взаємодії неорганічних в'язучих та колоїдно-глинистої складової ґрунту утворюються матеріали, що мають підвищену морозостійкість і довговічність. Особливо це стосується комплексно зміцнених ґрунтів. Усе це свідчить про практичну необхідність та економічну вигідність широкого застосування різноманітних видів зміцнених ґрунтів при будівництві транспортної мережі [9].

Для забезпечення довготривалої міцності ґрунтів у дорожнього будівництва пропонується виконувати ущільнення до максимального значення щільності скелета ґрунту при вологості, яка відповідає максимальній кількості зв'язаної води. Встановлено, що зміна вологості чи щільності скелета ґрунту суттєво змінює показники його міцності. Тому для досягнення тривалої міцності ущільненого ґрунту, що є необхідним для тривалої експлуатації автомобільної дороги, слід забезпечити вимогу збереження в часі стабільної щільності скелета ґрунту й вологості [10]. Такі умови виконуються при ущільненні ґрунту до максимально можливої щільності при вологості, близькій до максимального вмісту зв'язаної води. Ущільнений таким чином ґрунт зберігає стабільні в часі щільність скелета ґрунту й вологість, що забезпечує тривалу міцність земляного полотна [11].

При ущільненні ґрунту нормують значення оптимальної вологості (W_{opt}), при якій досягається максимальна щільність скелета ґрунту ρ_d . Переважно, ці дві величини визначають для конкретного виду ґрунту в лабораторії за більш сучасним та менш трудомістким тестом Проктора (ASTM D 698-91), принцип якого аналогічний до нормативного ДСТУ Б В.2.1-12: 2009. Зміна № 1. Ґрунти. Метод лабораторного визначення максимальної щільності. Однак, оптимальні параметри (максимальну щільність скелета ґрунту $\rho_{d\text{max}}$ і його оптимальну вологість W_{opt}) визначають на підставі з отриманих у лабораторних умовах значень для конкретного виду ґрунту й параметрів динамічного навантаження приладу без урахування параметрів фактичних механізмів. Автори [12, 13] довели, що оптимальна вологість залежить від тиску, що створює техніка при ущільненні масивів. Підвищення фактичного тиску від механізмів на ґрунт призводить до збільшення значення щільності скелета ґрунту при одночасному зменшенні значення оптимальної вологості.

Мета і завдання досліджень. Мета представлених досліджень – вивчити фізико-механічні показники глинистого ґрунту, зміцненого вапном та лужним цементом при ущільнюючому навантаженні близькому до фактичного. Тому завданням дослідження було встановити оптимальний склад цементоґрунту, який володіє підвищеною несучою здатністю для використання в основі конструкції дорожнього одягу.

Матеріали і методи досліджень. Основним компонентом цементоґрунту є глинистий ґрунт. Згідно з ДСТУ Б В.2.1-17:2009 “Ґрунти. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей” встановлено, що глинистий ґрунт представлений суглинком легким піщаним з показниками вологості на границі розкочування $W_p = 22\%$ та на границі текучості $W_p = 29,2\%$.

Гранулометричний склад суглинка визначали ареометричним способом (ДСТУ Б В.2.1-19:2009 “Грунти. Методи лабораторного визначення гранулометричного (зернового) та мікроагрегатного складу”. Гранулометричний склад суглинка складають частки таких розмірів: 0,1-0,05мм. – 10,33 %; 0,05-0,01 мм – 42,98 %; 0,01-0,005 мм – 32,29 %; менше 0,005 мм – 14,4 %. Вміст органічних речовин у сухій масі складає 9,2 мас.%(ДСТУ Б В.2.1-16:2009. Зміна № 1. ГРУНТИ. Методи лабораторного визначення вмісту органічних речовин), а РН ґрунту – 8,34 (ISO 10390:2005, IDT).

В якості зміцнюючих компонентів вводили портландцемент ПЦ П/А-Ш-400 (ДСТУ Б В.2.7-46-96) БАТ “Миколаївцемент” та соду кальциновану (ГОСТ 5100-85). Максимальну щільність скелету ґрунту при оптимальній вологості визначали за тестом Проктора (ASTM D 698-91). Границю міцності на стиск укріплених зразків ґрунту визначали згідно ДСТУ Б В.2.1-309:2016 “Грунти, укріплені в’язучим. Методи випробувань”, ДСТУ Б В.2.1-4:96 “Грунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності і деформованості”, ДСТУ Б В.2.7-214:2009 “Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками”.

Результати експериментальних досліджень. На першому етапі дослідження було встановлено максимальну щільність скелету ґрунту при оптимальній вологості для неукріпленого суглинка легкого піщанистого. Визначення проводили за тестом Проктора (ASTM D 698-91). Внутрішній діаметр та висота прес-форми становить 101,6 мм та 116,4 мм, відповідно. Кількість шарів у прес-формі, що ущільнюються – 5, число ударів по кожному шарі ґрунту – 25. Маса ущільнювального вантажу – 4,5 кг, а висота падіння – 457,2 мм.

З метою підвищення максимальної щільності скелету ґрунту при одночасному зменшенні оптимальної вологості у ґрунт вводили різні співвідношення вапна та вапна і цементу. Склад цементогрунту та результати дослідження приведені в табл. 1 та на рис. 1 і 2.

Таблиця 1

Результати лабораторних випробувань цементогрунту за методом Проктора, для встановлення максимальної щільності сухого ґрунту при оптимальній вологості

Номер випробування		1	2	3	4	5
Суглинок легкий піщанистий	Вологість ґрунту W (ч.о.)	0,15	0,18/ W_{opt}	0,192		
	Щільність сухого ґрунту ρ_d г/см ³	1,803	1,869/ ρ_{dmax}	1,816		
Суглинок легкий піщанистий + 4 % вапна	Вологість ґрунту W (ч.о.)	0,147	0,149/ W_{opt}	0,166		
	Щільність сухого ґрунту ρ_d г/см ³	1,861	1,890/ ρ_{dmax}	1,840		
Суглинок легкий піщанистий + 7 % вапна	Вологість ґрунту W (ч.о.)	0,126	0,138	0,144	0,157/ W_{opt}	0,175
	Щільність сухого ґрунту ρ_d г/см ³	1,799	1,800	1,841	1,844/ ρ_{dmax}	1,801
Суглинок легкий піщанистий + 10 % вапна	Вологість ґрунту W (ч.о.)	0,126	0,140/ W_{opt}	0,154		
	Щільність сухого ґрунту ρ_d г/см ³	1,770	1,828/ ρ_{dmax}	1,805		
Суглинок легкий піщанистий + 7 % вапна + 4 % цементу	Вологість ґрунту W (ч.о.)	0,119	0,142/ W_{opt}	0,153		
	Щільність сухого ґрунту ρ_d г/см ³	1,824	1,845/ ρ_{dmax}	1,799		
Суглинок легкий піщанистий + 7 % вапна + 7 % цементу	Вологість ґрунту W (ч.о.)	0,14	0,156/ W_{opt}	0,177	0,198	0,219
	Щільність сухого ґрунту ρ_d г/см ³	1,748	1,757/ ρ_{dmax}	1,737	1,735	1,632
Суглинок легкий піщанистий + 7 % вапна + 10 % цементу	Вологість ґрунту W (ч.о.)	0,140	0,147/ W_{opt}	0,167	0,187	0,226
	Щільність сухого ґрунту ρ_d г/см ³	1,812	1,821/ ρ_{dmax}	1,803	1,778	1,697

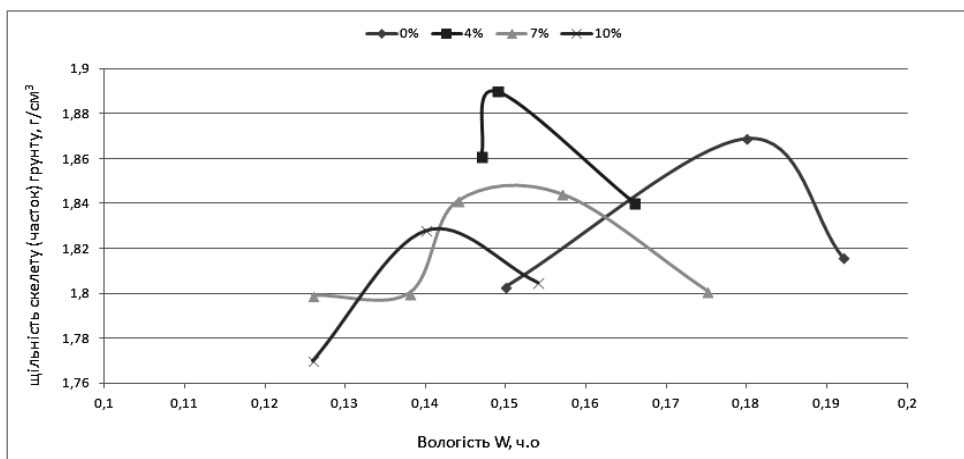


Рис. 1. Залежність щільності скелету ущільненого суглинку укріпленого вапном від вологості

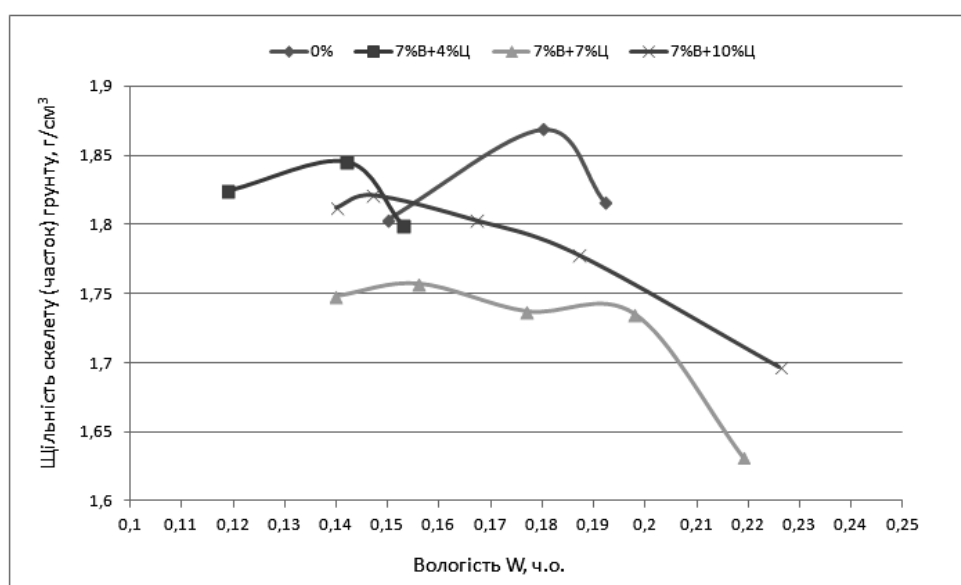


Рис. 2. Залежність щільності скелету ущільненого суглинку укріпленого вапном і цементом від вологості

Рис. 3. Прилади Проктора з ручними трамбівками для приготування зразків для визначення фізико-механічних показників



Як бачимо, згідно з даними табл. 1 та рис. 1, 2 оптимальним складом, за якого оптимальна вологість зменшується, а щільність сухого ґрунту зростає, є суглинок легкий піщанистий + 4 % вапна та Суглинок легкий піщанистий + 7 % вапна + 4 % цементу. Це можна пояснити тим, що вапно “забирає” вільно зв’язану воду. При цьому максимально можлива щільність досягається при вологості, максимального близькій до вмісту зв’язаної води. Ущільнений таким чином ґрунт зберігає стабільні у часі щільність скелета ґрунту й вологість, що забезпечує тривалу міцність земляного полотна. Проте, потрібно врахувати те, що у ґрунті укріпленого вапном та цементом будуть синтезуватись силікатні мінерали і із часом такий цементогрунт буде характеризуватись набором міцності. Тому, для більш точного визначення оптимального складу цементогрунту доцільним є встановити характеристики міцності.

Для подальшого вивчення впливу в’язучих матеріалів на фізико-механічні показники ґрунту, були проведені випробування для визначення міцності на стиск зразків ґрунту, у віці 14 та 28 діб. Зразки ґрунту готували згідно з ДСТУ Б В.2.1-309:2016 “Ґрунти, укріплені в’язучим. Методи випробувань”, з використанням приладів Проктора з ручними трамбівками (рис. 3). Результати випробувань наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Результати випробувань границі міцності на одноосьовий стиск цементогрунту

Склад цементогрунту	Міцність на стиск, МПа, у віці, діб		
	14 діб, (Н.У.)	28 діб, (Н.У.)	14 діб, (Н.У.) + 14 циклів заморожування-відтавання
Суглинок легкий піщанистий + 4 % вапна	3,65	3,47	-
Суглинок легкий піщанистий + 7 % вапна	4,58	4,51	-
Суглинок легкий піщанистий + 10 % вапна	3,32	3,17	-
Суглинок легкий піщанистий + 7 % вапна + 4 % цементу	3,99	6,11	-
Суглинок легкий піщанистий + 7 % вапна + 7 % цементу	4,25	6,89	3,125
Суглинок легкий піщанистий + 7 % вапна + 10 % цементу	4,55	6,25	3,99

Згідно з даними табл. 2 найоптимальнішим складом цементогрунту, котрий володіє підвищеними значеннями міцності та витримує 14 циклів заморожування та відтавання без руйнування та деяким збереженням міцності, є склад – суглинок легкий піщанистий + 7 % вапна + +10 % цементу. Це свідчить про те, що у такому цементогрунті переважає високолувне середовище, яке створюється лужним цементом та підсилюється вапном. Як наслідок у такому середовищі активуються процеси синтезу силікатних мінералів, а ґрунт перетворюється у міцний водостійкий камінь.

Висновок. Встановлена висока ефективність зміцнення суглиноків вапном та цементом. Доведено, що такий матеріал володіє вищою міцністю та здатний витримувати 14 циклів заморожування та відтавання без руйнації структури та деяким збереженням міцності. На основі цих даних підібраний оптимальний склад ґрунтоцементу. В результаті проведених досліджень суглинок легкий піщанистий зміцнений вапном та цементом може бути рекомендованим в якості земляного полотна автомобільних доріг.

1. Савицкий Н. В. Факторы, влияющие на качество грунтобетонных / Н. В. Савицкий, М. А. Елисеева, Н. В. Новиченко, Е. А. Бардах // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. тр. – Д. : ГВУЗ ПГАСА, 2015. – Вып.81. – С. 177–184. 2. Укрепленные грунты. (Свойства и применение в дорожном и аэродромном строительстве) / [Безрук В. М., Гулячков И. Л., Луканина Т. М., Агапова Р. А.]. – М. : Транспорт, 1982. – 231 с. 3. Жигайлов А. А. Влияние степени уплотнения на основные характеристики цементогрунта с полимерной добавкой / С. А. Куюков,

А. Н. Шуваев // Научно-технический вестник Поволжья : сбор. науч. ст. – Казань, 2011. – Вып. 5. – С. 131–134. 4. Щеглов А. Ф. Грунтобетоны на основе глинистых пород КМА для дорожного строительства: дис. ... кандидата техн. наук : 05.23.05 / Щеглов Александр Федорович. – Белгород, 2003. – 229 с. 6. Reddi L. N., Soil materials for earth construction: properties, classification and suitability testing / A. K. Jain, H.-B. Yun // Modern Earth Buildings: Materials, Engineering, Constructions and Applications.– Woodhead Publ. – 2012. – pp. 155–1715. 7. Минке Г. Глинобетон и его применение. – Калининград: Янтарный сказ, 2004. – 232 с. 8. Minke G. The clay-containing concrete and its use. – Kaliningrad: Yantarnyy skaz Publ., 2004. – 232 p. 9. Кожушко В. П. Технологія та трудові витрати на будівництво дослідної ділянки із ґрунтів укріплених вапном з хімічною домішкою “Релаксол” / В. П. Кожушко, Н. В. Грано, Д. М. Шпетний // Будівництво : зб.наук.пр. – Сумський аграрний університет, 2012 – Вип. 5 (16). – С. 32–35. 10. Винников Ю. Л. Нові критерії оптимального ущільнення ґрунтів дорожнього насипу за умови забезпечення їх тривалої міцності / Ю. Л. Винников, Т. В. Литвиненко // Проблеми розвитку міського середовища : зб. наук. пр. – Полтава:ПНТУ, 2014. – Вип.1 (11). – С. 424–433. 11. 1. Р В.2.3–218–02070915–757:2009. Рекомендації з підвищення стійкості високих насипів автомобільних доріг. – К.: Укравтодор, 2009. – 30 с. 12. Казарновский, В. Д. Основы нормирования и обеспечения требуемой степени уплотнения земляного полотна автомобильных дорог // В. Д. Казарновский, И. В. Лейтланд, В. К. Мирошкин. – М.: ФГУП “СоюздорНИИ”, 2002. – 33 с. 13. Біда, С. В. Аналіз взаємозв'язку питомого об'єму скелета ґрунту та вологості з питомим опором статичної та динамічної penetрації / С.В. Біда, Ю. Л. Винников, Т. В. Литвиненко // Зб. наук. праць (галузеве машинобуд., буд-во) / Полт. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. Вип. – 3 (38). – Т.1. – Полтава: ПНТУ, 2013. – С. 57 – 63.

References

1. Savitskiy N. V. Faktory, vliyayushchiye na kachestvo gruntobetonov / N. V. Savitskiy, M. A. Yeliseyeva, N. Novichenko, Ye.A. Bardakh // Stroitel'stvo, materialovedeniye, mashinostroyeniye: Sb. nauch. tr. – D.: GVUZ PGASA, 2015 – Vyp. 81. – S.177–184. 2. Ukreplennyye grunty (Svoystva i primeneniye v dorozhnom i aerodromom stroitel'stve) / [Bezruk V. M., Guryachkov I. L., Lukanin T. M., Agapova G. A.]. – M.: Transport, 1982. – 231 s. 3. Zhigaylovo A. A., Vliyaniye stepeni uplotneniya na osnovnyye kharakteristiki tsementogrunta s polimernoy dobavkoy / S. A. Kuyukov, A. N. Shuvayev // Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ya: sbor. nauch. st. – Kazan', 2011. – Vyp. 5. – S. 131–134. 4. Shcheglov A. F. Gruntobetony na osnove glinistykh porod KMA dlya dorozhnogo stroitel'stva: Dis. ... kandidata tekhn. nauk: 05.23.05 / Shcheglov Aleksandr Fedorovich. – Belgorod, 2003. – 229 s. 6. Reddi L. N., Soil materials for earth construction: properties, classification and suitability testing / A. K. Jain, H.-B. Yun // Modern Earth Buildings: Materials, Engineering, Constructions and Applications.– Woodhead Publ. – 2012. – pp. 155–1715. 7. Minka G. glinobeton i yego primeneniye. – Kaliningrad: Yantarnyy beshestvo, 2004. – 232 s. 8. Minke G. The clay-containing concrete and its use. – Kaliningrad: Yantarnyy skaz Publ., 2004. – 232 p. 9. Kozhushko V. P. Tekhnologiya i trudovyye zatraty na stroitel'stvo opytnogo uchastka s pochv ukreplennykh izvest'yu s khimicheskoy primes'yu “Relaksol” / V. P. Kozhushko, N. Grano, D. M. Shpetnyy // Stroitel'stvo: Zb. nauk. pr. – Sums'koy agrarnyy universitet, 2012 – Vyp. 5 (16). – S. 32–35. 10. Vinnikov YU.L. Novyye kriterii optimal'nogo uplotneniya gruntov dorozhnoy nasypi pri uslovii obespecheniya ikh dlitel'noy prochnosti / YU.L. Vinnikov, T. V. Litvinenko // Problemy razvitiya gorodskoy sredy: Zb. nauk. pr. – Poltava: PNTU, 2014. – Vyp.1 (11). – S. 424–433. 11. 1. R В.2.3–218–02070915–757: 2009. Rekomendatsii po povysheniyu ustoychivosti vysokikh nasypay avtomobil'nykh dorog. – M.: Ukravtodor, 2009. – 30 s. 12. Kazarnovskogo, V. D. Osnovy normirovaniya i obespecheniya trebuyemoy stepeni uplotneniya zemlyanogo polotna avtomobil'nykh dorog / V. D. Kazarnovskogo, I. V. Leytland, V. K. Miroshkin. – M.: FGUP “Soyuzdornii”, 2002. – 33 s. 13. Beda S. Analiz vzaimosvyazi udel'nogo ob'yema skeleta grunta i vlazhnosti s udel'nym soprotivleniyem staticheskoy i dinamicheskoy penetratsii / S. V. Beda, YU.L. Vinnikov, T. V. Litvinenko // Sb. nauk. rabot (otraslevoye mashinostroyeniya., str-vo) / Polt. nats. tekhn. un-t im. Yuriya Kondratyuka. Vyp. – 3 (38). – T. 1. – Poltava: PNTU, 2013. – S. 57–63.