

УДК 625.7./8

DOI <https://doi.org/10.32782/apcmj.2024.4.2>**Гаркуша Микола Васильович,**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри мостів, тунелів та гідротехнічних споруд  
факультету транспортного будівництва,  
Національний транспортний університет,  
вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, м. Київ, 01010, Україна  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5388-0561>  
E-mail: [mykola.harkusha@ntu.edu.ua](mailto:mykola.harkusha@ntu.edu.ua)

**Гаркуша Інна Юрїївна,**

старший викладач,  
кафедри іноземних мов  
факультету менеджменту, логістики та туризму,  
Національний транспортний університет,  
вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, м. Київ, 01010, Україна  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-9765-3711>

## ЗАСТОСУВАННЯ АКРИЛОВОЇ КОПОЛІМЕРНОЇ ДОБАВКИ ДЛЯ УКРІПЛЕННЯ ТА СТАБІЛІЗАЦІЇ ҐРУНТІВ У БУДІВНИЦТВІ

***Анотація.** Усе частіше будівництво об'єктів транспортного будівництва здійснюється в складних інженерно-геологічних умовах. Отже, як будівельний матеріал застосовуються слабкі ґрунти, що потребують подальшої стабілізації та укріплення для забезпечення надійності й довговічності об'єкта будівництва. Велике різноманіття ґрунтів, які застосовуються в будівництві, мають суттєве погіршення механічних властивостей унаслідок впливу кліматичних факторів, що значно впливає на їх несучу здатність. Тому вживання для цих видів ґрунтів заходів зі стабілізації й укріплення є чи не єдиним заходом, що дає можливість їх застосування в будівництві.*

*Нехтування заходами стабілізації та укріплення ґрунту, як правило, призводить до нерівномірного осідання основи, а також і до втрати її стійкості.*

*Найпоширенішим матеріалом зі стабільними фізико-механічними властивостями для стабілізації та укріплення ґрунту є цемент.*

*Модифікація цементу для укріплення та стабілізації ґрунту різноманітними полімерними добавками широко практикується протягом останніх кількох десятиліть.*

*Основою причиною використання таких матеріалів – схильність до утворення усадкових тріщин укріпленого матеріалу, які з часом можуть відбиватися крізь асфальтобетонні чи цементобетонні шари дорожнього покриття на поверхню після будівництва, а також підвищення водонепроникності й збільшення морозостійкості укріплених і стабілізованих ґрунтів.*

*Сьогодні є перспективним застосування акрилової кополімерної добавки із цементом для укріплення та стабілізації ґрунтів. Застосування цієї комбінації дає можливість отримання максимально ефективної в'язучої речовини. Застосування акрилової кополімерної добавки із цементом може бути використано для виконання будівництва, реконструкції, а також ремонту з метою забезпечення довговічності, економічності споруд, зменшення матеріалоємності й термінів будівництва.*

*У роботі проаналізовано можливість застосування акрилової кополімерної добавки для укріплення та стабілізації ґрунтів у будівництві.*

***Ключові слова:** акрилова кополімерна добавка, довговічність, транспортне будівництво, укріплення ґрунту, стабілізація ґрунту, цемент.*

### **Harkusha Mykola, Harkusha Inna. APPLICATION OF ACRYLIC COPOLYMER ADDITIVES FOR STRENGTHENING AND STABILIZATION OF SOILS IN CONSTRUCTION**

***Abstract.** Increasingly, the construction of transport construction facilities is carried out in difficult engineering and geological conditions. Therefore, weak soils are used as building material, which require further stabilization and strengthening to ensure the reliability and durability of the construction object. A wide variety of soils used in*

construction have a significant deterioration of mechanical properties due to the influence of climatic factors, which significantly affect their bearing capacity. Therefore, the application of stabilization and strengthening measures for these types of soils is almost the only measure that makes it possible to use them in construction.

Neglecting measures to stabilize and strengthen the soil, as a rule, leads to uneven settlement of the base, as well as to the loss of its stability.

The most common material with stable physical and mechanical properties for soil stabilization and strengthening is cement.

Modification of cement, for strengthening and stabilization of soil, with various polymeric additives has been widely practiced during the last few decades.

The main reason for this use of materials is that the reinforced material is prone to the formation of shrinkage cracks, which over time can be reflected through the asphalt concrete or cement concrete layers of the road surface to the surface after construction, as well as to increase the waterproofing and frost resistance of reinforced and stabilized soils.

Today, it is promising to use an acrylic copolymer additive with cement to strengthen and stabilize soils. The use of this combination for soil strengthening and stabilization makes it possible to obtain the most effective binder. The use of acrylic copolymer additives with cement can be used for construction, reconstruction, and repair in order to ensure durability, economy of structures, reduction of material consumption and construction periods.

The paper provides an analysis of the possibility of using an acrylic copolymer additive for strengthening and stabilizing soils in construction.

**Key words:** acrylic copolymer additive, durability, transport construction, soil strengthening, soil stabilization, cement.

**Вступ.** Ґрунти зазвичай використовуються як конструкції для дамб, насипів та інших земляних споруд, є основою під будівлі й споруди, а також наймасовішим будівельним матеріалом.

Однак у більшості інженерних проєктів неможливо отримати ґрунти, які відповідають проєктним вимогам, без їх модифікації. Поточна практика полягає в зміні інженерних властивостей місцевих проблемних ґрунтів відповідно до проєктних вимог.

Сьогодні такі ґрунти, як глинисті й органічні, можна покращити відповідно до вимог цивільного будівництва завдяки стабілізації та укріплення ґрунту [1].

Стабілізація ґрунту має на меті покращення міцності ґрунту та збільшення стійкості до розм'якшення водою шляхом зв'язування частинок ґрунту разом, підвищення водонепроникності частинок або комбінації обох [2].

Найпростішими стабілізаційними процесами є ущільнення й дренаж. Інший процес полягає в покращенні шляхом додавання в'язучих речовин (цемент, вапно, зола, бітум, полімер або їх комбінацією) до слабких ґрунтів [3]. Стабілізацію ґрунту можна здійснити кількома способами, усі ці методи поділяються на дві великі категорії, а саме:

– механічну стабілізацію (стабілізація ґрунту може бути досягнута за допомогою фізичного процесу шляхом зміни фізичної природи частинок ґрунту за допомогою вібрації або ущільнення тощо);

– хімічну стабілізацію (залежить головним чином від хімічних реакцій між стабілізатором (в'язучий матеріал) і мінералами ґрунту для досягнення бажаного ефекту).

*Територія дослідження.* Фундаментальна ідея покращення інженерних властивостей ґрунтів або модифікації ґрунтових матеріалів для виконання бажаної функції не нова. Деякі основні принципи поліпшення ґрунту, такі як ущільнення, зневоднення й використання домішок, існували тисячі років. Відомо про використання деревних і солом'яних включень, змішаних із грязюкою, для будівельних робіт у стародавні часи Месопотамії (межиріччя, «земля між річками», алювіальна рівнина між річками Тигром і Євфратом, нині територія сучасного Іраку та Сирії) і стародавнього Єгипту (до н. е.). Письмові праці китайських цивілізацій (3000–2000 рр. до н. е.) описували використання каменю й деревини [4]. Вапно, змішане із землею, використовувалося в будівництві знаменитої в Римській імперії Аппієвої дороги, побудованої приблизно в 600 році нашої ери під час розквіту Римської

імперії. Ця дорога витримала випробування часом і досі повністю функціонує. Як повідомляється, раннє покращення ґрунту шляхом додавання наповнювача використовувалося для контролю просочування під час будівництва гравійно-кам'яних дамб у Єгипті приблизно в 1900 році, де дрібнозернистий ґрунт заливався в грубий заповнювач для зниження проникності [5].

Варто зазначити, що цемент є найстарішою в'язучою речовиною з моменту винаходу технології стабілізації ґрунту в 1960-х роках [2]. Його можна розглядати як основну стабілізуючу речовину, оскільки він може використовуватися окремо для досягнення необхідної стабілізуючої дії [2; 6].

Реакція цементу не залежить від мінералів ґрунту, ключову роль відіграє його реакція з водою, яка може бути доступна в будь-якому ґрунті [6]. Це може бути причиною, чому цемент використовується для стабілізації широкого діапазону ґрунтів. На ринку доступні численні види цементу; це звичайний портландцемент, шлаковий цемент, сульфатостійкий і високоглиноземистий цемент. Зазвичай вибір цементу залежить від типу ґрунту, що обробляється, і бажаної кінцевої міцності.

Сьогодні важко сказати через складні записи й нечітке фіксування спогадів про час або місце, коли портландцемент уперше змішали з ґрунтом для створення затверділої водостійкої основи для дорожніх покриттів. Уважається, що одним із ранніх місць застосування портландцементу для укріплення ґрунтів є США [7].

Автор [7] зазначає, що передумовою до використання стало спостереження за транспортним перевезенням вантажів: було помічено, що водії вантажівок, які возили цемент по ґрунтовій дорозі, час від часу кидали кілька мішків у деякі з грязьових ям, щоб проїхати. Ці грубі суміші ґрунту й цементу були ефективними, але не враховані на той час [7].

Згідно з наявною інформацією, оброблена цементом дорога для випробування побудована в Пенсільванії, США, ще до 1930 року. Цей проєкт не був розголошений, здійснювався майже в атмосфері секретності. Однак, незважаючи на випадкові або розрізнені

попередні випробування, у Південній Кароліні з'явилися перші споруди й звітності про успішні ґрунтово-цементні основи. Про піонерську роботу в Південній Кароліні повідомлено в 1936 році. Хоча в Каліфорнії намагалися змішати портландцемент із важкими глинистими ґрунтами ще в 1921 році, однак ці дослідження не продовжені. Після повідомлень із Південної Кароліни в штаті Каліфорнія в 1937 році побудовано дві секції довжиною приблизно одну милю кожна. У 1938 і 1939 роках за контрактом побудовані додаткові проєкти, кожен завдовжки близько трьох миль [7].

До 1940 року всі роботи цього типу в Каліфорнії використовували метод дорожніх сумішей. Однак часто було важко забезпечити рівномірну конструкцію як за глибиною обробленого матеріалу, так і за рівномірністю розподілу цементу. Крім того, змішування доріг за допомогою сільськогосподарського обладнання (наприклад, дисків і борон, які тоді зазвичай використовували) вимагало значного часу, зазвичай була затримка в 6–8 годин між уведенням цементу й води до остаточного ущільнення, що, звичайно, значно негативно впливало на міцність на стиск [7].

Довгий досвід змішування асфальтобетонних сумішей як дорожнім, так і заводським способом указав на перевагу заводського змішування щодо швидкості й однорідності. Здавалося логічним, що процес змішування ґрунту й цементу також буде вдосконалений. Тому з 1939 року розпочато три проєкти, які вимагали змішування цементу з гравієм або гранульованими матеріалами в стаціонарній змішувальній установці.

Оскільки пропонувані матеріали, як правило, були гранульованими, а не такими, які аграрії зазвичай класифікують як «ґрунт», було вирішено, що термін «цементована основа» є більш доречним. Крім того, термін «стабілізація ґрунту» широко використовувався продавцями та рекламними агентствами й застосовувався до різноманітних методів обробки ґрунту, які мають мало або взагалі нічого спільного. З того часу всі подібні роботи в Каліфорнії називаються «основою, обробленою цементом», незалежно від

градації ґрунту, мінерального заповнювача чи методу змішування. Ще одна зміна порівняно зі східною практикою (східною частиною США) полягає в методі вираження вмісту цементу. Визначення вмісту цементу за об'ємом обґрунтовано з теоретичної точки зору, але менш зручно в практичному застосуванні, що спричинило залучення до «контролю та інспекції» будівництва набагато більше осіб, ніж у лабораторіях, тому було вирішено вказати вміст цементу у відсотках від маси заповнювача. На цьому етапі Каліфорнія має єдину практику зазначення відсотка цементу в оброблених цементом основах, які тепер указуються у відсотках від маси сухого заповнювача.

До 1941 року завершено близько 30 миль цементно-обробленої основи, а до кінця 1943 року збільшився до понад 100 миль [8]. Протягом цього періоду велася лабораторна робота для визначення відповідних процедур випробувань, методів розробки сумішей, специфікацій тощо. Установлення методів випробувань має, звичайно, вимагати певних знань щодо основних властивостей, уважалося само собою зрозумілим, що оброблені цементом суміші повинні мати певну відчутну міцність на стиск відповідно до звичайних уявлень щодо властивостей цементобетону. Питання про те, які властивості є головними, не було таким самоочевидним і мало багато обговорень. Як і в усіх нових розробках, на ідеї, схильні впливати еволюційні кроки або думки окремих людей. Ті інженери, які мали тривалий досвід або знання в проєктуванні й будівництві цементобетону були схильні віддавати перевагу високій міцності цементних основ. Тому ці оброблені основи деякі вважали різновидом бетону нижчої якості, тоді як інші – удосконаленою основою заповнювача.

До 1950 року в Каліфорнії США було побудовано кілька сот миль доріг із використанням укріпленої цементом основи [9]. Між 1950 і 1962 роками понад 700 миль каліфорнійських автомагістралей побудовано з використанням укріпленої цементом основи, покритої асфальтобетоном або цементобетоном [9].

У дослідженнях Філіпа Шервуда [2] установлено, що дрібнозернисті гранульовані

матеріали найлегше стабілізувати через їх велику площу поверхні щодо діаметра частинок. Глинистий ґрунт порівняно з іншими має велику площу поверхні завдяки плоским і витягнутим формам частинок. З іншого боку, глинисті матеріали можуть бути чутливими до невеликих змін вологості й, отже, можуть виявитися складними під час стабілізації [2], як і торф'яні й органічні ґрунти багаті вмістом води, високою пористістю та високим вмістом органічних речовин, у більшості випадків відкладення неглибоке, але в гіршому разі воно може поширюватися на кілька метрів під поверхнею [10–13]. Органічні ґрунти мають високу обмінну здатність, що може перешкоджати процесу гідратації, утримуючи іони кальцію, що вивільняються під час гідратації силікату кальцію та алюмінату кальцію в цементі, щоб задовольнити обмінну здатність. У таких ґрунтах успішна стабілізація має залежати від правильного вибору в'язучого й кількості доданого в'язучого [12; 14].

У 1938 році Департамент доріг Оклахоми вивчав використання цементно-модифікованих поверхонь шляхом спорудження та спостереження за семи милями доріг. Уміст цементу коливався від 4% до 16% за масою. У 1983 році визначено пластичні характеристики цементно-модифікованої основи за 45 років експлуатації. Результати цих випробувань показують, що ефективність цементної модифікації дрібнозернистих ґрунтів була постійною та результативною [15].

У 1976 році Дж.Б. Бурленд та ін. [16] описали впровадження наземної обробки в «раціональному контексті» з основними етапами, незважаючи на те що ці кроки можуть здатися дуже простими й очевидними, вони є основними принципами, яких варто дотримуватися, вибираючи ділянку для нового будівництва.

Саме в США запропоновано введення комплексу модифікуючих речовин для стабілізації та укріплення ґрунтів, у тому числі почали застосовувати цемент з кополімерною добавкою.

**Матеріали та методи.** У роботі визначено розрахункові характеристики укріплених

грунтів, випробування проводилося згідно з методиками [17; 18].

Склад акрилової кополімерної добавки: (55–60)% вініл акрилового полімеру; (1–5)% ефір октил феноксил поліетиленгліколю; (1–5)% ефір октил феніловий поліетиленгліколю; (40–45)% вода.

З метою отримання порівняльних результатів готували суміші досліджуваних ґрунтів з добавкою портландцемент М400 + акрило-

вий кополімер і з добавкою портландцементу М400. Випробували ґрунти: супісок пилуватий (проба № 1); супісок піщанистий (проба № 2).

**Результати.** Результати визначення межі міцності на стиск ґрунтів, укріплених різними добавками, наведено на рис. 1–4.

Результати визначення межі міцності на розтяг при згині ґрунтів, укріплених різними добавками, наведено на рис. 5, 6.

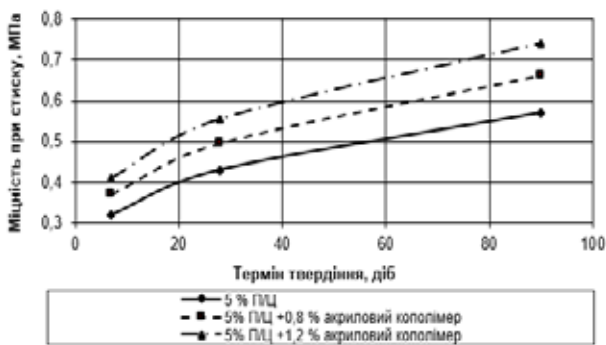


Рис. 1. Залежність міцності на стиск від часу твердіння. Проба № 1

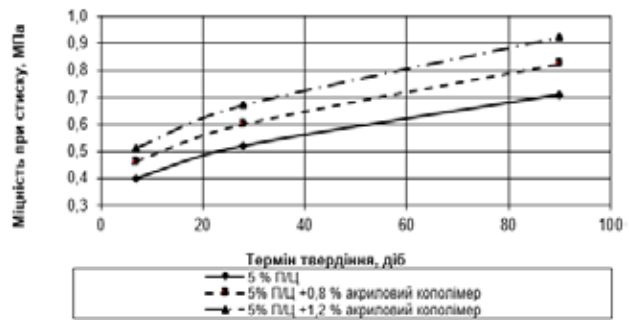


Рис. 2. Залежність міцності на стиск від часу твердіння. Проба № 2

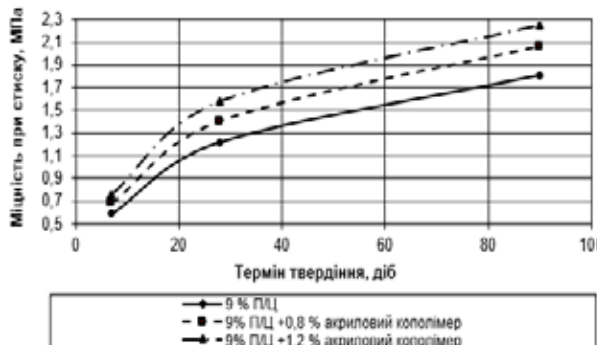


Рис. 3. Залежність міцності на стиск від часу твердіння. Проба № 1

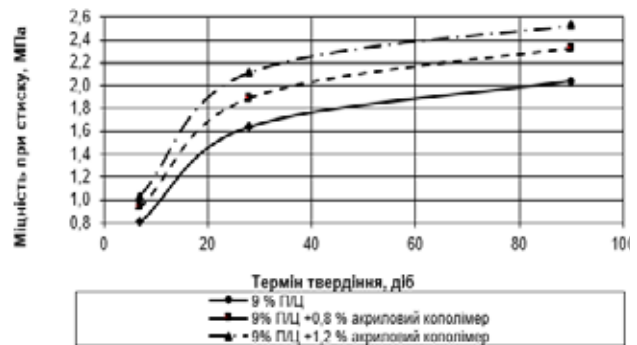


Рис. 4. Залежність міцності на стиск від часу твердіння. Проба № 2

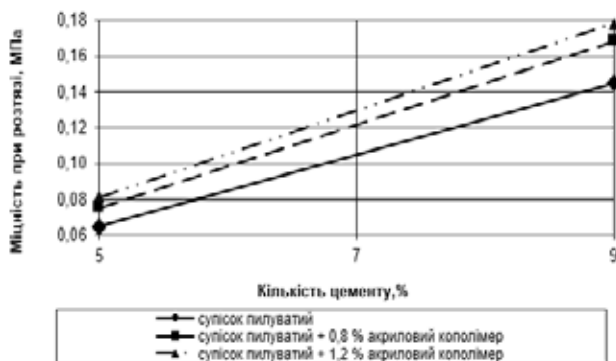


Рис. 5. Визначення границі міцності на розтяг при згині. Проба № 1

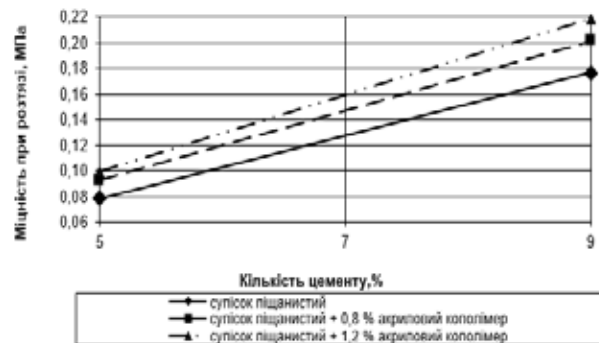


Рис. 6. Визначення границі міцності на розтяг при згині. Проба № 2

**Висновки.** Результати дослідження свідчать про ефективне застосування акрилового кополімеру з добавкою портландцементу, що дає можливість підвищити механічні властивості. Дослідження з ефективності використання акрилового кополімеру з добавкою портландцементу потребують додаткових досліджень та апробації на будівельному майданчику.

#### Список використаних джерел:

1. Гаркуша М.В. Застосування укріплення ґрунтів у транспортному будівництві. *Airport Planning, Construction and Maintenance Journal*. 2024. № 3. С. 21–29. DOI: <https://doi.org/10.32782/apcmj.2024.3.3>.
2. Sherwood P. Soil stabilization with cement and lime. State of the Art Review. London : Transport Research Laboratory, HMSO, 1993. 153 p.
3. Rogers C.D.F., Glendinning S. Modification of clay soils using lime. *Proceeding of the Seminar held at Loughborough University on Lime Stabilization* 1993. P. 99–114.
4. ASCE. Soil improvement: history, capabilities and outlook. Report by the Committee on Placement and Improvement of Soils, Geotechnical Engineering Division. New York, 1978. 182 p.
5. Charles J.A. Ground improvement: the interaction of engineering science and experience-based technology. *Geotechnique*. 2002. Vol. 52. № 7. P. 527–532. <http://10.1680/geot.52.7.527.38748>.
6. EuroSoilStab. Development of Design and Construction Methods to Stabilize Soft Organic Soils: Design Guide for soft soil stabilization. CT97-0351, European Commission, Industrial and Materials Technologies Programme (Rite-EuRam III). Bryssel, 2002. 95 p.
7. Hveem F.N., Zube E. California Mix Design for Cement-Treated Bases. *Highway Research Record*. 1963. Vol. 36. P. 11–55.
8. Stanton T.E., Hveem F.N., Beatty J.L. Progress Report on California Experience with Cement Treated Bases. *HRB Proc.* 1943. Vol. 23. P. 279–296.
9. Zube E., Gates C.G., Shirley E.C., Munday H.A. Service performance of cement-treated bases as used in composite pavements. *Highway Research Record*. 1969. Vol. 1. P. 57–69.
10. Pousette K., Mácsik J., Jacobsson A. Peat Soil Samples Stabilized in Laboratory-Experiences from Manufacturing and Testing. *Proceeding of Dry Mix Methods for Deep Stabilization*. 1999. Vol. 1. P. 85–92.
11. Cortellazzo G., Cola S. Geotechnical Characteristics of Two Italian Peats Stabilized with Binders. *Proceeding of Dry Mix Methods for Deep Soil Stabilization*. 1999. Vol. 1. P. 93–100.
12. Åhnberg H., Holm G. Stabilization of Some Swedish Organic Soils with Different Types of Binders. *Proceeding of Dry Mix Methods for Deep Soil Stabilization*. 1999. Vol. 1. P. 101–108.
13. Holm G., Andréasson B., Bengtsson P., Bodare A., Eriksson H. Mitigation of Track and Ground Vibrations by High Speed Trains at Ledsgård, Sweden. Linköping, 2002. 60 p.
14. Hebib S., Farrell E.R. Some Experiences of Stabilizing Irish Organic Soils. *Proceeding of Dry Mix Methods for Deep Soil Stabilization*. 1999. Vol. 1. P. 81–84.
15. Roberts J.D. Performance of Cement-Modified Soils: *A Follow-Up Report*. 1986. Vol. 1089. P. 81–86.
16. Burland J.B., McKenna J.M., Thomlinson M.J. Preface: ground treatment by deep compaction. *Geotechnique*. 1976. Vol. 25. № 1. P. 1–2.
17. ДСТУ Б В.2.7-309:2016. Ґрунти, укріплені в'язучим. Методи випробувань. [Чинний від 2017-01-01]. Київ, 2016. 24 с. (Інформація та документація).
18. ДСТУ EN 14227-15:2021 (EN 14227-15:2015, IDT). Суміші, укріплені гідравлічним в'язучим. Технічні умови. Частина 15. Ґрунти, стабілізовані гідравлічним в'язучим. [Чинний від 2022-09-01]. Київ, 2021. 23 с. (Інформація та документація).

#### References:

1. Harkusha, M.V. (2024). Zastosuvannya ukriplennya hruntiv u transportnomu budivnytstvi [Application of soil consolidation in transport construction]. *Airport Planning, Construction and Maintenance Journal*. 3, 21–29. <https://doi.org/10.32782/apcmj.2024.3.3> [in Ukrainian].
2. Sherwood, P. (1993). *Soil stabilization with cement and lime*. London: Transport Research Laboratory [in English].
3. Rogers, C.D.F., & Glendinning, S. (1993). *Modification of clay soils using lime*. Proceeding of the Seminar held at Loughborough University on Lime Stabilization. London: Transport Research Laboratory [in English].
4. ASCE (1978). *Soil improvement: history, capabilities and outlook. Report by the Committee on Placement and Improvement of Soils*. New York: Geotechnical Engineering Division [in English].

5. Charles, J.A. (2002). *Ground improvement: the interaction of engineering science and experience-based technology*. Geotechnique. <http://10.1680/geot.52.7.527.38748> [in English].
6. EuroSoilStab (2002). *Development of Design and Construction Methods to Stabilize Soft Organic Soils: Design Guide for soft soil stabilization*. Bryssel: European Commission, Industrial and Materials Technologies Programme (Rite-EuRam III) [in English].
7. Hveem, F.N., & Zube, E. (1963). *California Mix Design for Cement-Treated Bases*. Highway Research Record [in English].
8. Stanton, T.E., Hveem, F.N., & Beatty, J.L. (1943). *Progress Report on California Experience with Cement Treated Bases*. HRB Proc [in English].
9. Zube, E., Gates, C.G., Shirley, E.C., & Munday, H.A. (1969). *Service performance of cement-treated bases as used in composite pavements*. Highway Research Record [in English].
10. Pousette, K., Mácsik, J., & Jacobsson, A. (1999). *Peat Soil Samples Stabilized in Laboratory-Experiences from Manufacturing and Testing*. Proceeding of Dry Mix Methods for Deep Stabilization [in English].
11. Cortellazzo, G., & Cola, S. (1999). *Geotechnical Characteristics of Two Italian Peats Stabilized with Binders*. Proceeding of Dry Mix Methods for Deep Soil Stabilization [in English].
12. Åhnberg, H. & Holm, G. (1999). *Stabilization of Some Swedish Organic Soils with Different Types of Binders*. Proceeding of Dry Mix Methods for Deep Soil Stabilization [in English].
13. Holm, G., Andréasson, B., Bengtsson, P., Bodare, A., & Eriksson, H. (2002). *Mitigation of Track and Ground Vibrations by High Speed Trains at Ledsgård, Sweden*. Linköping: Swedish Deep Stabilization Research Centre [in English].
14. Hebib, S., & Farrell, E.R. (1999). *Some Experiences of Stabilizing Irish Organic Soils*. Proceeding of Dry Mix Methods for Deep Soil Stabilization [in English].
15. Roberts, J.D. (1986). *Performance of Cement-Modified Soils: A Follow-Up Report*. Transportation research record [in English].
16. Burland, J.B., McKenna, J.M., & Thomlinson, M.J. (1976). *Preface: ground treatment by deep compaction*. Geotechnique [in English].
17. Grunty, ukripleni v"yazhuchym. Metody vyprobuvan'. [Soils reinforced with a binder. Test methods]. (2016). *DSTU B V.2.7-309:2016 from 1<sup>st</sup> January 2016*. Kyiv: Derzhstandart Ukraine [in Ukrainian].
18. Sumishi, ukripleni hidravlichnym v"yazhuchym. Tekhnichni umovy. Chastyna 15. Grunty, stabilizovani hidravlichnym v"yazhuchym. [Mixtures reinforced with a hydraulic binder. Technical conditions. Part 15. Soils stabilized by hydraulic binder]. (2021). *DSTU EN 14227-15:2021 (EN 14227-15:2015, IDT) from 9<sup>th</sup> September 2021*. Kyiv: Derzhstandart Ukraine [in Ukrainian].