

УДК 625.731.2

Гаркуша М.В., аспірант  
Національний транспортний університет,  
м. Київ

## УКРІПЛЕННЯ ТА СТАБІЛІЗАЦІЯ ҐРУНТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ МІНЕРАЛЬНОГО В'ЯЖУЧОГО "ОДОЛ-СГ"

### Вступ

Результати, досягнуті в галузі стабілізації ґрунтів за останні роки, склали передумови для широкого використання методів стабілізації для створення стійких дорожніх основ. Це стало актуальним в тих районах, де відсутні кам'яні або піщані матеріали, а їхнє перевезення спричинює подорожчання робіт в декілька разів.

Основними шляхами підвищення стійкості дороги є збільшення товщини дорожнього покриття та збільшення несучої здатності дорожньої основи і підстиляючого ґрунту, що дозволяє зменшити товщину покриття. Останній є більш доцільним, оскільки в його основу покладена ідея максимального використання властивостей матеріалів, тобто він є більш економічним.

Використання в конструктивних шарах дорожніх одягів укріплених ґрунтів та інших місцевих матеріалів дає можливість знизити вартість будівництва і витрати ресурсів. Подальший розвиток цієї технології йде по шляху вдосконалення існуючих і розробки нових методів укріплення із застосуванням відомих і нетрадиційних в'язучих і вторинних ресурсів, створення нових ефективних ґрунтозмішувальних машин, розробки сучасних методів експрес-контролю.

Науковий пошук в області укріплення ґрунтів починали в 20 - 30-і роки минулого сторіччя з використанням в якості в'язучих бітумів, вапна, цементу, а пізніше синтетичних смол [1].

### *Методи стабілізації та укріплення ґрунтів*

*Стабілізація ґрунту* – це комплекс заходів, спрямованих на надання ґрунту стійкого стану, постійності, збереження незмінних властивостей за допомогою стабілізатора.

*Укріплення ґрунту* – це комплекс заходів, спрямованих на підвищення механічної міцності та водостійкості ґрунту. Включає ряд послідовних технологічних операцій, що забезпечують в результаті активного впливу на ґрунт добавок в'язучих та інших речовин – високу щільність, міцність та довготривалу стійкість як в сухому так і в водонасиченому стані.

В результаті багаторічних лабораторних досліджень і різнобічних досвідів у виробничих умовах розроблений і широко застосовується на практиці цілий ряд досить різноманітних методів укріплення ґрунтів.

Одним з найпоширеніших методів є зміцнення ґрунтів мінеральними в'язучими у вигляді цементу або вапна, що характеризується формуванням кристалізаційної структури. Ця структура виникає у результаті зрощування кристалів нової твердої фази, що постає з пересиченого розчину, як це, наприклад, буває при гідратаційному твердінні мінеральних в'язучих матеріалів.

У процесі розробки різних методів укріплення ґрунтів вони вдосконалювалися і при цьому знаходилися ефективні нові рішення по суттєвому поліпшенню їхніх структурно-механічних властивостей. Було встановлено і підтверджено багаторічними спостереженнями у виробничих умовах, що при укріпленні ґрунтів двома різними в'язучими матеріалами,

що характеризуються досить різними, але неантагоністичними властивостями і структурою, вони набувають підвищену зсуво-, морозо-, температуростійкість і при необхідності можуть бути менш твердими і більш деформативними матеріалами. Так з'являється комплексний метод укріплення ґрунтів.

Крім зазначених вище причин у завдання комплексних методів, що розробляються і застосовуються на практиці входить рішення наступних найбільш важливих питань для дорожнього будівництва:

- розширення видів ґрунтів, що придатні для ефективного їх укріплення в'язучими матеріалами (кислі, гумусовані, засолені ґрунти);

- продовження будівельного сезону за рахунок можливості обробки перезволожених ґрунтів і виконання робіт при несприятливих температурах;

- підвищення деформативності;

- розширення застосування укріплених ґрунтів при влаштуванні дорожніх основ і покриттів на дорогах різних категорій.

Найбільше поширення у практиці дорожнього будівництва одержав комплексний метод укріплення ґрунтів цементом у поєднанні із хлористим кальцієм, їдким і сірчаноокислим натрієм [2].

На сьогоднішній день існує велика кількість речовин, які сприяють перетворенню ґрунту або дрібних маломіцних мінеральних матеріалів у монолітний матеріал.

Використовувати стабілізатори для поліпшення стану і якості ґрунтів без застосування неорганічних в'язучих доцільно тільки за умови, коли на оброблений ґрунт активно не діятиме вода. В Україні використовуються стабілізатори ґрунту: Roadbond ЕН -1 (виробництво США); RRP-235 Special — Рейнольд і Роуд Паккер (виробництво Німеччини і Канади); Roadbon SPP (виробництво ПАР і Росії); стабілізатори ГРБ-1, ГРБ-2, ГРБ-3, ГРБ-4, ГРБ-5 (виробництво Інституту високомолекулярних з'єднань НАН України); стабілізатор СГ (виробництва НАН України); стабілізатор Solitas (виробництва компанії Soilworks США); стабілізатор Solitas (виробництва компанії Soilworks США); гідрофобізуючі рідини ГКЖ-ІІБ, ГКЖ-12, КЖ-94 (виробництва Запорізького АТ «Кремній полімер»); стабілізатор ґрунтів Perma-Zyme 11x (виробництво США); рідке скло; хлористий кальцій (CaCl<sub>2</sub>), ТОВ «Дніпровська асоціація-К» ферментного стабілізатора Дорзин. Стабілізатори рекомендують застосовувати у вигляді розбавленого водяного розчину. Стабілізатори дорожніх масі ґрунтів доцільно використовувати у поєднанні з цементом при спорудженні будь-яких складових дорожнього одягу. Речовини для укріплення ґрунту, можуть бути різного походження, відрізнятися за властивостями, але їх об'єднує те, що вони збільшують міцність, волого- і морозостійкість, що в свою чергу дозволяє використовувати їх в суворих кліматичних умовах. На сьогоднішній день в Україні застосовують в'язучі RBI-81, Infra Crete, що підвищують фізико-механічні властивості ґрунту та надають матеріалам морозо- і водостійкість [4-8]

Добавка «ОДОЛ-СГ» для стабілізації та укріплення ґрунтів, яка за проведеннями лабораторними дослідження не поступається закордонним аналогам, дозволяє значно підвищити фізико-механічні показники укріпленого ґрунту.

Відповідно до діючої методики проектування дорожнього одягу [2-3] для виконання перевірки впливу «ОДОЛ-СГ» на підвищення довговічності дорожнього одягу було визначено його розрахункові характеристики (деформаційні та міцнісні показники).

**Метою роботи було вирішити поставлене завдання:**

- проектування складів ґрунтів укріплених добавкою «ОДОЛ-СГ»;
- встановлення оптимальних витрат даної добавки для укріплення ґрунту;
- визначення фізико-механічних характеристик укріпленого ґрунту добавкою «ОДОЛ-СГ».

**Матеріали для досліджень.** Для вирішення поставлених завдань були відібрані проби різних ґрунтів для встановлення впливу мінералогічного складу, гумусових речовин та кислотності середовища на властивості укріпленого ґрунту. Ґрунти, представлені супіском піщаним (проба № 1) та дрібним піском (проба № 2) з різною питомою поверхнею. Для дослідження було вибрано декілька видів ґрунту з метою оцінки впливу зернового складу та питомої поверхні на ефективність застосування добавки. З метою порівняльної ефективності впливу добавки ОДОЛ-СГ було використано відповідно до нормативу [2] в'язуче – портландцемент М 400.

Дослідження полягало в порівнянні фізико-механічних властивостей ґрунтів змішаних з добавкою ОДОЛ-СГ 5, 9, 13% та відповідно з 5, 9, 13% портландцементу і при оптимальній вологості з них формували зразки-циліндри та зразки-балочки. Зразки витримували у спеціальній герметичній шафі (у вологих умовах) – над ємністю з водою протягом 90 діб і випробовували для визначення вказаних характеристик на 90-ту добу у водонасиченому стані [2-3].

**Методика та результати дослідження.** Характеристики укріпленого ґрунту визначали згідно нормативів [2, 3].

Границя міцності при стиску визначалась на циліндричних зразках за допомогою гідравлічного пресу зі швидкість вільного ходу поршня 3 мм/хв.

Визначення границі міцності на стиск зразків 90-добового терміну твердіння у водонасиченому стані показали, що супісок піщанистий з добавкою 5% ОДОЛ-СГ мав міцність при стиску 0,94 МПа, що на 60% вище міцності проби №1 з цементом такої ж кількості (рис. 1). Зі збільшенням добавки ОДОЛ-СГ міцність зразків проби № 1 підвищувалася, досягаючи 2,8 МПа при 9% ОДОЛ-СГ та 4,22 МПа при 13% ОДОЛ-СГ. Піски дрібні (проба №2) при додаванні до них 5% ОДОЛ-СГ характеризувалися 11%-вим зростанням міцності (рис. 2). Це свідчить про те, що максимальні показники міцності можна отримати при укріпленні ґрунтів з підвищеною питомою поверхнею частинок, а саме ґрунтів із вмістом глинистих часток.



**Рисунок 1** - Залежність міцності на стиск проби №1 при використанні різної кількості добавок

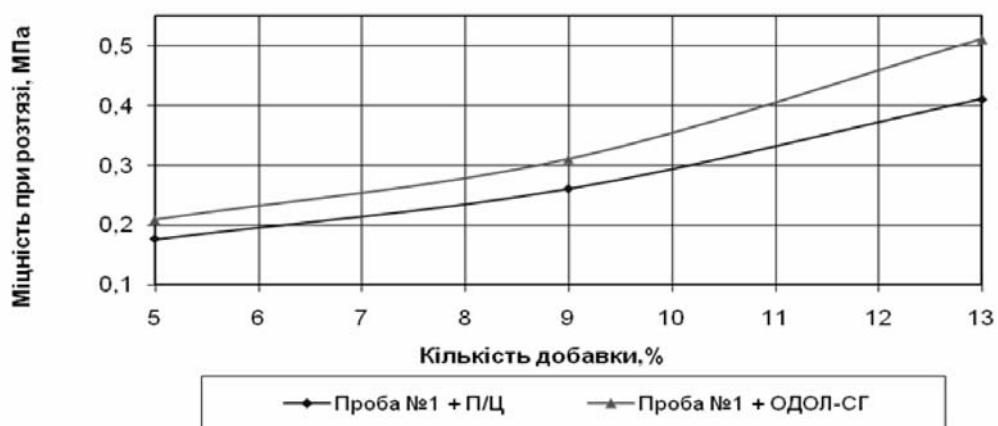


**Рисунок 2** - Залежність міцності на стиск проби №2 при використанні різної кількості добавок

Границя міцності на розтяг при згині визначалась на зразках-балочках. Дане випробування проводили на машині марки МИИ-100 при температурі +20°C і швидкості деформування 3 мм/хв.

Визначення границі міцності на розтяг при згині зразків 90-добового терміну твердіння у водонасиченому стані показали, що супісок піщанистий з добавкою 5% ОДОЛ-СГ мав міцність 0,156 МПа, що на 24% вища за еталон (рис. 3). Із збільшенням добавки ОДОЛ-СГ міцність зразків проби № 1 підвищувалася, досягаючи 0,288 МПа при 9% ОДОЛ-СГ та 0,492 МПа при 13% ОДОЛ-СГ. Піски дрібні (проба №2) при додаванні до них 5% ОДОЛ-СГ характеризувалася міцністю – 0,22 МПа.

При збільшенні вмісту добавки ОДОЛ-СГ міцність таких зразків збільшується із меншою інтенсивністю і при 9% ОДОЛ-СГ становить 0,45 МПа для проби № 2 та при 13% ОДОЛ-СГ - 0,53 МПа (рис. 4).



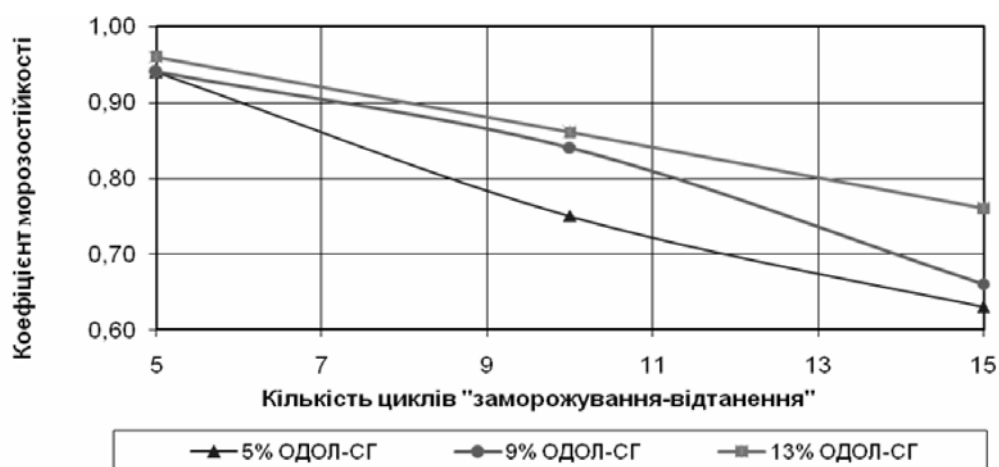
**Рисунок 3** - Залежність міцності на розтяг при згині проби №1 при використанні різної кількості добавок



**Рисунок 4** - Залежність міцності на розтяг при згині проби №2 при використанні різної кількості добавок

Випробування на морозостійкість проводили на трьох зразках кожного складу після їх твердіння протягом 90 діб. Після повного водонасичення зразки піддавали почергово заморожуванню протягом чотирьох годин та розморожуванню.

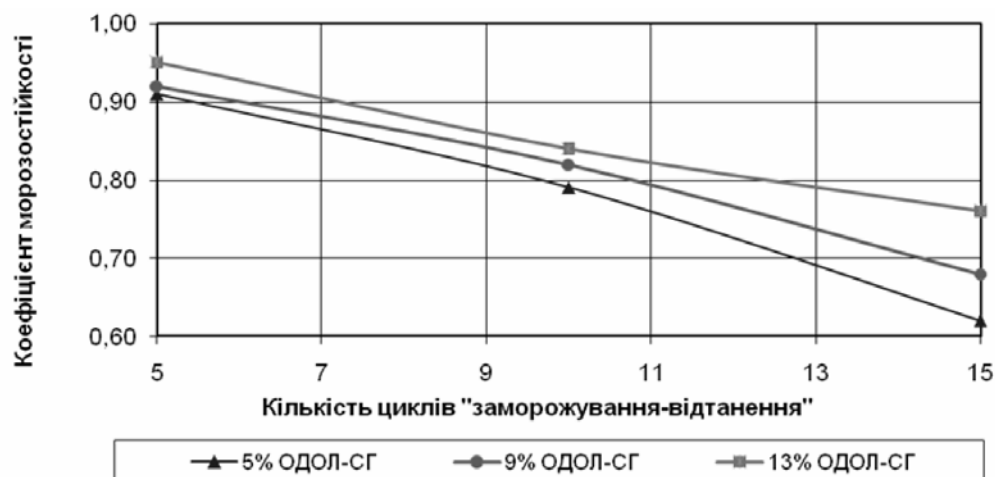
Кількість циклів заморожування-відтавання складала 5, 10, 15. Температура заморожування становила мінус 18 °С.



**Рисунок 5** - Залежність коефіцієнту морозостійкості від кількості циклів «заморожування-відтавання» проби ґрунту №1 при використанні різної кількості добавки ОДОЛ-СГ

Модуль пружності зразків визначали при температурі +20°С і тривалості дії навантаження 0,1 с. за допомогою маятникового пристрою.

При визначенні модуля пружності цементогрунтові зразки досліджуваних проб ґрунтів, характеризувалися незначними величинами жорсткості і, в залежності від виду ґрунту та кількості цементу, модуль пружності змінювався від 108-298 МПа при 5% цементу до 359-628 МПа при 13 % цементу та 118-319 МПа при 5% до 536-716 МПа при 13% відповідно добавки ОДОЛ-СГ.



**Рисунок 6** - Залежність коефіцієнту морозостійкості від кількості циклів «заморожування-відтанення» проби ґрунту №2 при використанні різної кількості добавки ОДОЛ-СГ

Зразки ОДОЛ-СГ при такому ж вмісті добавки характеризувалися практично однаковим значенням модуля пружності. Результати визначення модулів пружності укріпленого ґрунту проб № 1, № 2, наведені в табл. 1.

**Таблиця 1** - Результати визначення модуля пружності укріпленого ґрунту

№ п/п	Модуль пружності, МПа					
	Проба №1			Проба №2		
	Кількість добавки, %			Кількість добавки, %		
	5	9	13	5	9	13
<b>Добавка ОДОЛ-СГ</b>						
1	118	314	536	319	509	716
<b>Добавка портландцемент М 400</b>						
2	108	224	359	298	438	628

Вплив повторності дії навантаження від транспортних засобів при розрахунку дорожніх одягів враховується шляхом введення в розрахунок характеристик втоми дорожньо-будівельних матеріалів. Випробування на втому дорожньо-будівельних матеріалів полягає у моделюванні дії розтягуючих горизонтальних нормальних напружень, що виникають при згині монолітних шарів від дії колеса транспортних засобів.

### **Висновки:**

Різні методи укріплення ґрунтів, що основані на докорінних зміні та покращенні властивостей ґрунтів шляхом введення в них добавок в'язучих матеріалів і інших активних речовин, знайшли практичне застосування з позитивними результатами в самих різних природних та ґрунтово-геологічних умовах.

Важливим фактором при оцінці будівельних (фізико-механічних) властивостей (здатності до покращання властивостей) ґрунтів є вміст та мінералогічний склад найбільш активної і самої важливої тонкодисперсної частини ґрунту – глинистих часток.

Проведені дослідження добавки ОДОЛ-СГ та виконаний літературний аналіз показали, що ґрунти стабілізовані ОДОЛ-СГ, відповідають вимогам, що висуваються до укріплених ґрунтів згідно з вимогами стандартів України.

Зміна фізико-механічних властивостей ґрунтів укріплених ОДОЛ-СГ в широких межах в залежності від кількості добавки та різновиду ґрунту свідчить про можливість активного регулювання його властивостей, а також можливості використання добавки для різних типів дорожнього одягу.

Великі техніко-економічні переваги дорожніх основ та покриттів з укріплених ґрунтів можуть бути повністю реалізовані лише при чіткій організації робіт і використанні сучасних засобів механізації, а саме, важливу роль в формуванні властивостей укріпленого ґрунту відіграють фізичні та механічні процеси, виникаючі при подрібленні ґрунту, його поєднанні з в'язучим та іншими речовинами, а також при зволоженні та ущільненні суміші з забезпеченням тривалого оптимального вологого та температурного режиму твердіння.

### ЛІТЕРАТУРА

1. В.М. Безрук. Укрепление ґрунтов в дорожном и аэродромном строительстве. М. Транспорт, 1971. – 247 с.
2. ВБН В.2.3-218-186-2004 Дорожній одяг нежорсткого типу.
3. ВБН В.2.3-218-002-95 Проектування і будівництво основ та покриттів автомобільних доріг із кам'яних матеріалів, промислових відходів і ґрунтів, укріплених цементом / Київ, 1995, 47 с.
4. Маркова Э.Я. Комплексное укрепление песчаного ґрунта с использованием отвальной золошлаковой смеси // Исследование свойств и эффективной области применения дорожно-строительных материалов. - М., 1981. - С. 31 - 35. - (Сб. науч. тр. / Гипродорнии).
5. Разработать и внедрить составы смесей и технологию устройства оснований дорожных одежд из ґрунтов, укрепленных вяжущими с использованием отходов промышленности (фтор-ангидрит) с составлением рекомендаций /Союздорнии. - М., 1989.
6. Ольховиков В.М., Бахрах М.Г. Использование отходов синтетических материалов для повышения расчетных характеристик цементоґрунта. - М., 1992. - С. 33 - 37. - (Тр. / НПО «Росдорнии»; Вып. 5).
7. Бесараб О.М., Гуріна Л.І., Смолянець В.В. Оцінка впливу добавки в ґрунт RVI-81 на підвищення довговічності дорожнього одягу. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво - К., 2008.-Вип.75- С73- 81.
8. Бесараб О.М., Гуріна Л.І., Опрощенко І.О. Дослідження добавки Infra Crete для підвищення фізико-механічних властивостей ґрунту. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво - К., 2008.-Вип.75- С260- 266.