

Зоценко М.Л., д.т.н., професор
Петраш Р.В., к.т.н., доцент
Фоменко В.О., студент
Стеценко О.В., студент

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

ОСОБЛИВОСТІ БУДІВНИЦТВА АВТОДОРІГ У СКЛАДНИХ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВАХ УКРАЇНИ

Виконано аналіз стану автомобільних доріг в Україні. Доведено, що характерною особливістю більшості доріг є те, що вони у короткий час експлуатації набувають аварійного стану, причиною цього явища вважається недостатній рівень конструктивних заходів, які стосуються урахування особливих властивостей ґрунтів і складних інженерно-геологічних процесів. Показано, що ділянки доріг, які проходять по територіях розповсюдження стисливих ґрунтів, будуються без урахування їх особливостей, насипи доріг недостатньо ущільнюються. Запропоновано заходи з вирішення вказаних недоліків шляхом впровадження у дорожнє будівництво ґрунтоцементу як засобу підсилення основи доріг і як гідроізолюючого матеріалу.

Ключові слова: *автомобільні дороги, осідання, морозне випинання, ґунт оцмент, бурозмішувальний метод, водонепроникність.*

Зоценко Н.Л., д.т.н., професор
Петраш Р.В., к.т.н., доцент
Фоменко В.А., студент
Стеценко А.В., студент

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

ОСОБЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОДОРОГ В СЛОЖНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ УКРАИНЫ

Проведен анализ состояния автомобильных дорог в Украине. Доказано, что характерной особенностью большинства дорог является то, что они в короткое время эксплуатации переходят в аварийное состояние и причиной этого явления считается недостаточный уровень конструктивных мер, касающихся учета особых свойств ґрунтов и сложных инженерно-геологических процессов. Показано, что участки дорог, проходящих по территориям распространения сжимаемых ґрунтов, строятся без учета их особенностей, насыпи дорог недостаточно уплотняются. Предложены меры по решению указанных недостатков путем внедрения в дорожнє строительство ґрунтоцемента как средства усиления основания дорог и в качестве гидроизолирующего материала.

Ключевые слова: *автомобильные дороги, осадки, морозное пучение, ґрунтоцемент, буросмесительный метод, водонепроницаемость.*

Zotcenko M., ScD, Professor
Petrash R., PhD, Associate Professor
Fomenko V., student
Stetcenko O., student

Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University

PECULIARITIES OF ROADS CONSTRUCTION ON THE TERRITORIES OF LOESS LOAM SPREADING

This article represents analysis of state of Ukrainian roads. Characteristic feature of its majority is gaining the emergency state during short period of time. Lack of constructive means aimed at consideration of specific features of loess loams and complex engineering-geological processes is the cause of this phenomenon.

Almost 70 % of Ukraine's territory from the surface consists of quaternarydepositions which might be considered as loess rocks. Loess soils are spread mostly at watersheds and terraces above flood-plain of rivers. Depth of loess depositions varies from a few centimeters to tens of meters. So in many cases territories of roads charting consist of loess soils. Saturation of loess soils leads to its structural collapse accompanied by losing of its strength. As the result, the soil base of road decreases its volume – it sags. This causes deterioration of road profile. Amount of sagging depends on depth of subsiding soils.

Potholes in the road in most cases might be explained by the process of frost soil heaving. That's the process when separate aggregations of ice merge in the soil. Its volume increases during long term action of frost due to migration of water and steam inside soil towards frost front. Introduction of capillar cutting layers embedded in road sheet isn't efficient for various reasons. Constant emerging of potholes in spring during ice melting confirms this assumption.

During construction of road bank the soil needs to be compacted until necessary density will be reached alongside with optimal humidity. But practically reaching of necessary density of soil is hardly achievable. The reasons for that are non-optimal humidity of soil, inefficient work of compaction mechanisms and violation of soil compaction regime. When it's necessary to ensure designed quality of bank additional strengthening of poorly compacted soil is introduced using different techniques.

All of roads that lie at the territory of loess loams spreading are built without consideration of a possibility of soils saturation and further uneven subsiding occurring. The same thing about soils that subjected to heaving or saline soils. Complicated engineering-geological phenomenon which take place at sliding or undermining territories remain unsolved. At most cases these particularities are ignored during designing of roads.

For solving those problems new principles and methods of roads construction are needed. These methods should prevent deformation of road sheet due to soil subsiding. Special construction of road sheet should be used. This construction should prevent frost heave of soil in winter and potholes emerging in spring.

Keywords: *roads, subsiding, frost heave, soil-cement, deep soil mixing technology, water tightness.*

Вступ. Великий М. В. Гоголь ще у XIX столітті говорив: «У нас є дві біди – дурні і погані дороги». Про якість автомобільних доріг в Україні можна сказати те, що переважно вони знаходяться в аварійному стані. Їх стан характеризується, з одного боку, нерівністю поверхні, а з іншого – наявністю значної кількості окремих руйнувань (вибоїн) у дорожньому покритті.

У статті зроблено спробу дати пояснення цьому явищу і намітити шляхи виправлення ситуації, яка склалася у дорожньому будівництві.

Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій. Майже 70% території України складені четвертинними відкладами, котрі можна віднести до лесових порід. Лесові ґрунти розповсюджені здебільшого на водорозділах та надзаплавних терасах річок. Потужність лесових відкладів складає від декількох сантиметрів до десятків метрів. Таким чином, у багатьох випадках території прокладення автомобільних доріг складені лесовими ґрунтами. Зволоження лесів призводить до руйнування їх структури і супроводжується втратою міцності ґрунту. Унаслідок цього ґрунт основи дороги зменшується в об'ємі – просідає, що створює порушення її профілю. Величина такого порушення залежить від товщини просадочної товщі ґрунтів та їх відносного просідання [1].

Наявність вибоїн у дорожньому покритті у більшості випадків пояснюється процесом морозного випинання, коли у ґрунті утворюються окремі скупчення льоду, які збільшуються в об'ємі при тривалих морозах за рахунок міграції води і водяної пари у ґрунті до фронту промерзання. Улаштування капілярперериваючих шарів у тілі земляного полотна не достатньо нейтралізує процес міграції вологи з різних причин. Цей факт підтверджується масовою появою вибоїн на дорозі навесні, коли розтає лід [2, 3, 4].

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Неякісний стан автомобільних доріг в Україні, звичайно, залежить не тільки від причин, які було наведено вище. Відомо, що при влаштуванні ґрунтових насипів для дороги необхідно ущільнювати ґрунт до потрібної щільності скелета ґрунту при оптимальній вологості [2, 5, 6, 7]. Однак досвід показує, що на практиці досягти необхідного ступеня ущільнення ґрунту насипу вдається не завжди з різних причин: невідповідність вологості ґрунту оптимальному значенню, неякісна робота механізмів з його ущільнення, порушення режиму пошарового ущільнення ґрунту тощо. У практичному будівництві, коли необхідно обов'язково забезпечити проектну якість насипу, використовують додаткове підсилення недостатньо ущільненого ґрунту різними відомими методами [1, 8, 9, 10].

У випадку, коли дорогу влаштовують у виїмці, переважно не перекладають непорушений ґрунт, а використовують його при природній щільності. А оскільки на водорозділах і плато великі площі складені просадочними ґрунтами, то можливість їх зволоження призводить до просідань полотна й порушення експлуатаційних якостей дороги. Відповідно до державних будівельних норм усі капітальні споруди на таких ґрунтах проектується за умови, що основа буде обов'язково зволожена й просадки її безумовно проявляться у часі [11, 12, 13]. І в цьому випадку, як і при промерзанні, необхідне підсилення основи для нейтралізації просадочних властивостей ґрунту.

Постановка завдання. Спираючись на викладене вище, можна сформулювати мету роботи, яка полягає у розробленні нових принципів та методів будівництва автомобільних доріг таким чином, щоб запобігти деформуванню полотна дороги внаслідок осідань основи. При цьому необхідно використовувати таку конструкцію дорожнього покриття, яка буде надійно запобігати виникненню морозного випинання взимку і вибоїн у покритті навесні.

Основний матеріал і результати. В арсеналі геотехніків є багато способів поліпшення ґрунтів [11]. За принципом дії на ґрунти вони поділяються на три групи: механічні, коли ґрунти ущільнюються за допомогою котків, трамбівок, вібромашин, вибухів; хімічні, коли ґрунти зміцнюються за допомогою введення в'язучих речовин – цементу, рідкого скла, вапна тощо; фізичні, коли ґрунти зміцнюються шляхом дії фізичних процесів, – термічна обробка, електрохімічне закріплення, зневоднювання.

Більшість з перелічених методів пристосовані до певних ґрунтів. Так механічно ущільнюються трифазні ґрунти, коли їх пори не повністю заповнені водою. Для них існує поняття оптимальної вологості. Водонасичені ґрунти не ущільнюються котками чи трамбівками. Виняток складають лесові просадочні ґрунти, для них розроблений метод ущільнення вибухом. Перед вибухом такі ґрунти насичують водою [11].

Фізичні методи мають спеціальне призначення і використовуються в особливих випадках.

Хімічні методи найбільш універсальні й застосовуються для різних ґрунтів незалежно від їх водонасичення. Найбільш поширена цементація ґрунтів. Розрізняють такі види цементації ґрунтів: низьконапірне нагнітання цементного молока у ґрунт при тиску $\sigma = 0,4 - 1,0$ МПа; високонапірне – при тиску $\sigma = 30 - 60$ МПа; бурозмішувальний спосіб цементації; струминний спосіб цементації.

За даними літературних джерел, у розвинутих країнах більше 60% основ і фундаментів виготовляється шляхом цементації ґрунтів за бурозмішувальним та струминним методами. Спеціалізована європейська фірма «Keller» виконує таких робіт на суму 2,8 млрд € за рік. В Україні найбільш поширений бурозмішувальний метод цементації ґрунтів [8, 14, 15].

Останнім часом широко розповсюджений так званий метод закріплення ґрунтів шляхом їх армування вертикальними жорсткими елементами. Він полягає у тому, що частина об'єму ґрунту, який підсилюється, замінюється жорстким, практично нестисливим матеріалом. Це можуть бути набивні чи забивні палі з бетону, залізобетону, щебеню, цементованого ґрунту тощо. Між стінками цих елементів і ґрунтом виникає тертя, за рахунок чого стисливість армованої основи зменшується, ґрунт ніби зависає на цих елементах. Чим менша відстань між жорсткими елементами (чим більший об'єм жорсткого матеріалу в ґрунті), тим менша стисливість армованої ґрунтової основи.

Оскільки тертя ґрунту по бетону, втрамбованому щебеню, закріпленому ґрунту різниться несуттєво порівняно з міцністю на стиск перелічених матеріалів, недоцільно використовувати для армування ґрунтів бетон чи залізобетон. На нашу думку, достатньо армувати ґрунт ґрунтоцементними елементами (ГЦЕ), які виготовляються за бурозмішувальним методом.

Суть бурозмішувального методу полягає в тому, що в процесі буріння свердловини розпушується природний ґрунт без виймання його зі свердловини. У зону руйнування крізь вертлюг, яким оснащений буровий станок, розчинонасосом нагнітають водоцементну суспензію, котра робочим органом (бурозмішувачем) ретельно перемішується з пухким ґрунтом. Розпушування ґрунту, подавання цементного розчину і розмішування його з ґрунтом виконуються за всією довжиною ГЦЕ. Після тужавіння суміші утворюється міцний ґрунтоцементний елемент, який не розмокає у водному середовищі. Такі елементи можна утворювати й у повністю водонасиченому ґрунті, тобто нижче рівня ґрунтових вод. Досліди, котрі було проведено у часі з визначення міцності ґрунтоцементних елементів, показали її зростання через роки після виготовлення.

Буріння свердловини починається з першої штанги, обладнаної бурозмішувачем для руйнування ґрунту та його перемішування із цементною суспензією.

У бурозмішувачі влаштовані отвори для подавання суспензії до свердловини. Проектна глибина свердловини досягається поступовим нарощуванням штанг, які з'єднуються між собою спеціальними муфтами. При зворотному ході штанги виконується додаткове перемішування суміші з додаванням цементної суспензії. За висотою однієї штанги перемішувати слід кілька разів для досягнення більш однорідного складу ґрунтоцементу. Після цього верхня штанга видаляється і багатократне перемішування суміші виконується на наступній ділянці. Таким чином, поступовим видаленням штанг досягається заповнення всієї свердловини ґрунтоцементом з паралельним його ретельним перемішуванням. За необхідності у свіжий ґрунтоцемент вставляється арматурний каркас за допомогою гідравліки чи вібрування. Схему виготовлення ГЦЕ показано на рис.1.

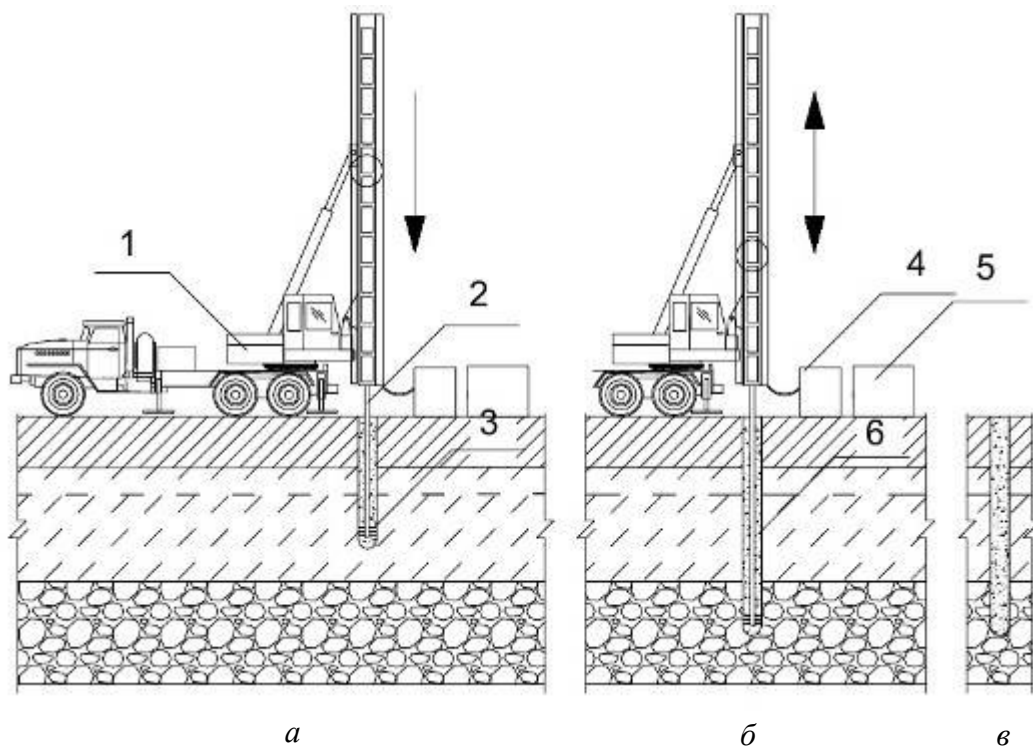


Рисунок 1 – Схема процесу виготовлення ГЦЕ за бурозмішувальним методом:

а – розпушування ґрунту і насичення його водоцементною суспензією;

б – перемішування рідкої ґрунтоцементної суміші до однорідності;

в – готовий ГЦЕ:

1 – базовий автомобіль; 2 – бурова труба;

3 – бурозмішувач; 4 – розчинонасос; 5 – розчинозмішувач;

6 – напірний рукав для подавання водоцементної суспензії

Літературні дані свідчать, що фізико-механічні характеристики ґрунтоцементу, виготовленого безпосередньо в масиві ґрунту за бурозмішувальною технологією, залежать від: літології ґрунтів, умісту цементу, терміну тужавіння [15, 16, 17]. Нижче на рис. 2 і 3 у графічному вигляді наведені залежності механічних характеристик ґрунтоцементу: E – модуль деформації та R – міцність на стиск залежно від числа пластичності ґрунту. Зразки досліджувалися при терміні тужавіння 90 діб. Кожне визначення характеристик ґрунтоцементу проводили у 6 – 8-кратній повторності.

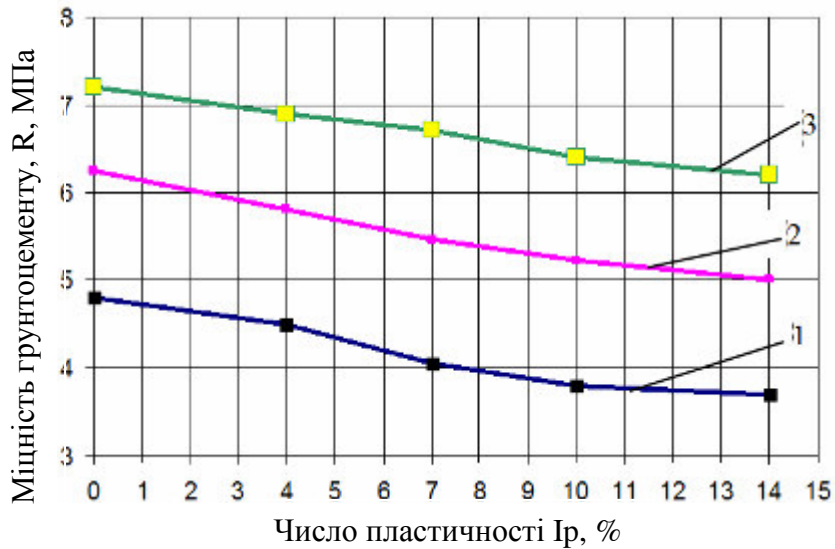


Рисунок 2 – Залежності міцності ґрунтоцементу на стиск R від числа пластичності ґрунту I_p при вмісті цементу: 1 – 15%; 2 – 20%; 3 – 25%

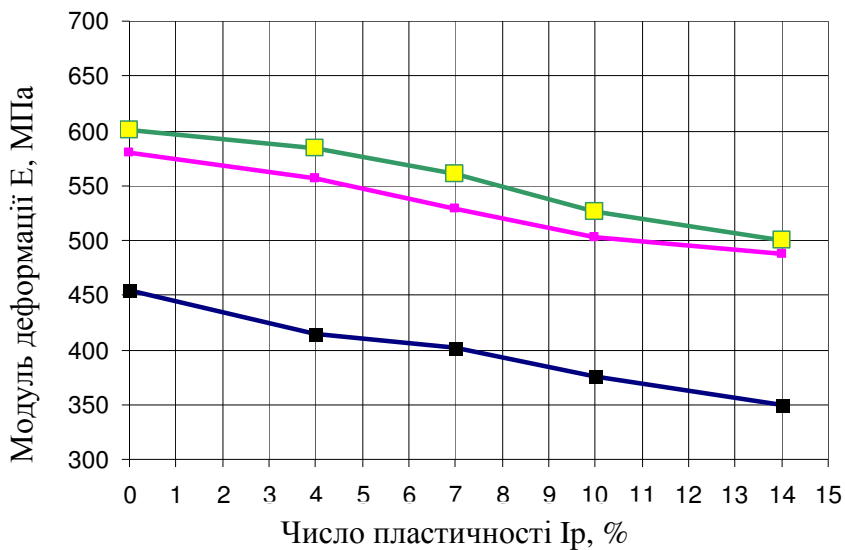


Рисунок 3 – Залежності модуля деформації ґрунтоцементу E від числа пластичності ґрунту I_p при вмісті цементу: 1 – 15%; 2 – 20%; 3 – 25%

Із графіків (рис. 2 і 3) видно, що з підвищенням числа пластичності ґрунту, тобто збільшенням у його складі вмісту глинистої фракції, міцність ґрунтоцементу зменшується, а стисливість збільшується за лінійним законом.

Зіставлення модуля деформації E і міцності на стиск R ґрунтоцементу, який було виготовлено в лабораторних умовах, показано на рис. 4.

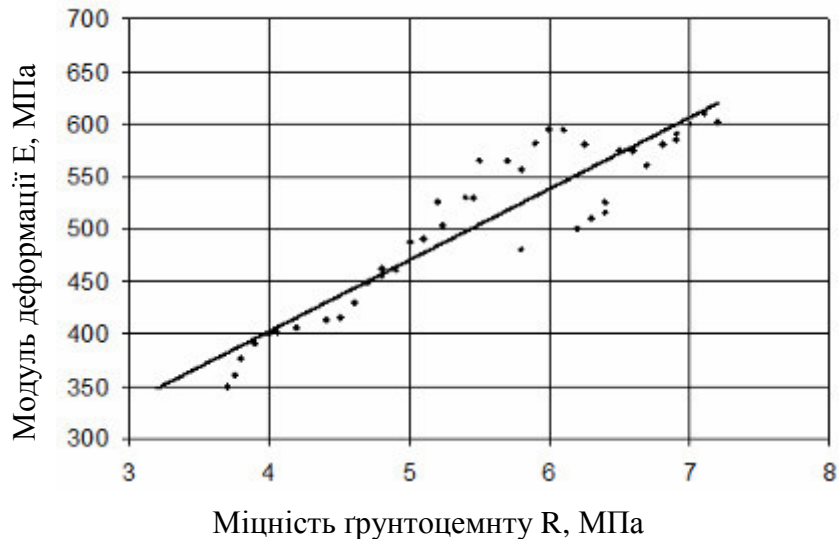


Рисунок 4 – Зіставлення E та R для ґрунтоцементів, виготовлених із різних ґрунтів

Відповідно до рис. 4 маємо лінійну залежність між модулем деформації та призмовою міцністю ґрунтоцементу в широкому діапазоні числа пластичності глинистих ґрунтів і пісків

$$E = 131,69 + 67,737 R . \quad (1)$$

Залежність (1) слід вважати інваріантною, тобто незалежною від літологічного складу ґрунту, із якого виготовляється ґрунтоцемент за бурозмішувальною технологією. Коефіцієнт кореляції $r = 0,86$ при коефіцієнті варіації $v = 0,11$.

На основі наведених матеріалів досліджень можна зробити висновки, що на стисливість і міцність ґрунтоцементу, крім умісту цементу і терміну тужавіння, впливають ще й такі фактори:

- літологія глинистих ґрунтів, кращі механічні властивості у пилюватих з найменшим умістом глинистих частинок;
- піщані ґрунти з незначним умістом глинистих частинок є кращим матеріалом для виготовлення ґрунтоцементу порівняно з глинистими;
- залежність між E та R для ґрунтоцементів лінійна й не залежить від складу і стану ґрунту, з якого виготовлено ґрунтоцемент.

Як відомо, ґрунтоцемент являє собою складну багатофазну систему, яка складається із ґрунту, що має полідисперсний та полімінеральний склад, та цементуючої речовини – цементу, котрий з'єднує частинки ґрунту в моноліт. Гель, який утворюється при гідратації цементу, просочує ґрунт та заповнює його пори. Ґрунтоцемент, на відміну від цементних бетонів, має значно більшу пористість. Якщо пористість бетонів складає декілька процентів і пори утворюються в основному в застиглому цементному камені, то в ґрунтоцементі залишкова пористість може складати 20 – 30% та вище. Установлено, що в ґрунтоцементі переважають ультрамікропори, і це робить матеріал практично водонепроникним. Характер пор, які утворюються в бетоні, залежить від цілого ряду факторів, у першу чергу від щільності матеріалу та умов його тужавіння, а також від виду використаного цементу. Так, більш якісний бетон за водонепроникністю може бути отриманий на пуцоланових портландцементях. З технологічної позиції ефективним способом одержання водонепроникного бетону є його ущільнення.

Вивчати ґрунтоцемент як будівельний матеріал почали десь з 30-х рр. ХХ ст. Було доведено доцільність застосування монолітного ґрунтоцементу як гідроізоляційного матеріалу при укладанні його в ядро накидних дамб та влаштуванні облицювання зрошувальних каналів. Установлено, що глинистий ґрунт до закріплення з коефіцієнтом фільтрації $p \cdot 10^{-3}$ см/с, після закріплення його цементом (на 2-гу добу після виготовлення), знижує Кф до $p \cdot 10^{-8}$ см/с – $p \cdot 10^{-10}$ см/с, тобто в 10 000 – 100 000 разів. Таким чином, ґрунт у результаті закріплення цементом стає практично водонепроникним [18].

Оскільки у жодних нормативах немає методики визначення водонепроникних властивостей ґрунтоцементу, то при дослідженні його водонепроникних якостей користувалися стандартами для бетонів. Тобто виконувати дослідження за «мочною плямою» й експрес-методом. Якщо розглядати ґрунтоцемент як ґрунт, змінений під хіміко-фізичним впливом, для нього потрібно визначати коефіцієнт розм'якливості у воді K_{sof} .

З метою дослідження водонепроникності ґрунтоцементу на дослідному майданчику, складеному лесовими просадочними суглинками, бурозмішувальним методом були виготовлені вертикальні ґрунтоцементні елементи діаметром 200 мм та довжиною 2,5 м. Уміст цементу – 20% від ваги сухого ґрунту, водоцементне відношення суспензії – $V/C = 1$. Через 6 місяців ГЦЕ були викопані з масиву та розпиляні на циліндри висотою 150 мм (рис. 5) для подальшого випробування у лабораторних умовах.



Рисунок 5 – Ґрунтоцементний елемент діаметром 200 мм у масиві ґрунту

Водонепроникність зразків ґрунтоцементу визначалась експрес-методом за допомогою приладу ВВ-2, як це показано на рис. 6. Цей прилад використовується для прискореного визначення водонепроникності бетону. Метод базується на наявності експериментальної залежності між повітронепроникністю поверхневих шарів бетону та його водонепроникністю. Як параметр, який характеризує повітронепроникність, приймається значення часу, за котрий тиск у камері приладу падає на певну величину. Була випробувана серія зразків із шести циліндрів діаметром 200 мм і висотою 120 – 150 мм. Результати випробувань наведені в таблиці 1.

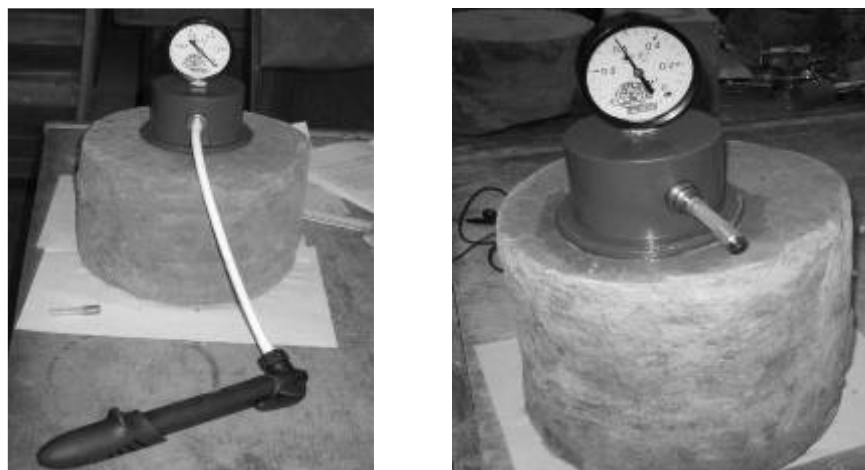


Рисунок 6 – Дослідження водонепроникності ґрунтоцементу приладом ВВ-2

Таблиця 1 – Значення у часі й відповідна марка з водонепроникності зразків ґрунтоцементу

№ зразків	Час t_i , с	Марка W
1	305,27	12
2	320,58	12
3	445,00	14
4	480,54	14
5	520,30	14
6	784,98	16

За результатами випробувань отримали, що водонепроникність ґрунтоцементу відповідає марці W14 (за класифікацією бетонів). Коефіцієнт варіації, визначений методом найменших квадратів, для цього дослідження склав $V = 0,11$. Значення коефіцієнта варіації відповідає загальним уявленням для ґрунтів: це підтверджує, що ґрунтоцемент має досить високу водонепроникність.

Водостійкість ґрунтоцементу також перевірялася шляхом порівняння міцності на одноосьовий стиск зразків, що зберігались в умовах сухого повітря й у воді (коефіцієнт розм'якшення). Для цього з досліджуваних експрес-методом зразків ґрунтоцементу діаметром 200 мм і висотою 150 мм виготовлялися кубики розмірами $7 \times 7 \times 7$ см, які були розділені на дві серії по 6 штук: зразки першої серії зберігались протягом 28-ми діб у воді; зразки другої серії зберігались протягом 28-ми діб в умовах сухого повітря. Проведені випробування показали, що межа міцності на одноосьовий стиск зразків, які зберігались у воді, становить $R_c = 1,54$ МПа, а зразків, що зберігались в умовах сухого повітря, $R_c = 1,36$ МПа. Коефіцієнти варіації для отриманих даних складають відповідно $v = 0,092$ і $v = 0,057$. Одержані результати свідчать, що ґрунтоцемент не тільки не розмокає у воді, але, навпаки, збільшує свою міцність.

Отже, можна підкреслити такі позитивні якості ґрунтоцементу:

– при його виготовленні до 80% маси матеріалу (ґрунту) знаходиться на будівельному майданчику, тобто значно зменшуються транспортні витрати, що особливо важливо при будівництві автодоріг;

– при закріпленні слабких чи просадочних ґрунтів цементациєю бурозмішувальна технологія порівняно з нагнітальною забезпечує вищу якість робіт й економію цементу; цей ефект можна пояснити тим, що при нагнітанні в природний ґрунт цементна суспензія під тиском розповсюджується у ньому за слабкими напрямками – тріщинами, засипаними траншеями, зворотними засипками тощо. Унаслідок нагнітання товща закріпленого ґрунту отримує значну неконтрольовану неоднорідність. При бурозмішувальному методі цементна суспензія насичує лише ґрунт, розпушений бурозмішувачем, тобто тільки у межах проектного ГЦЕ. Саме це створює однорідність підсиленого масиву основи разом зі значним зниженням її стисливості. Положення ГЦЕ у просторі основи строго зафіксоване проектом;

– важливою перевагою ґрунтоцементу є його аномально висока як для будівельних матеріалів водонепроникність, навіть для ґрунтоцементу з піску її величина складає $W = 6 - 8$, що слугуватиме перепорою морозному випинанню ґрунтів під дорожнім полотном, а це у свою чергу виключить утворення у межах дороги глибоких вибоїн;

– міцність ґрунтоцементу на стиск через 28 діб тужавіння цементу складає від $R = 2$ МПа, а з часом (через рік) ця величина збільшується вдвічі. Процес тужавіння ґрунтоцементу проходить тривало у часі, збільшення його міцності фіксувалося впродовж 5 років.

Усе, що означено вище, дозволяє використовувати ґрунтоцемент при будівництві автомобільних доріг за схемою, яку показано на рис.7.

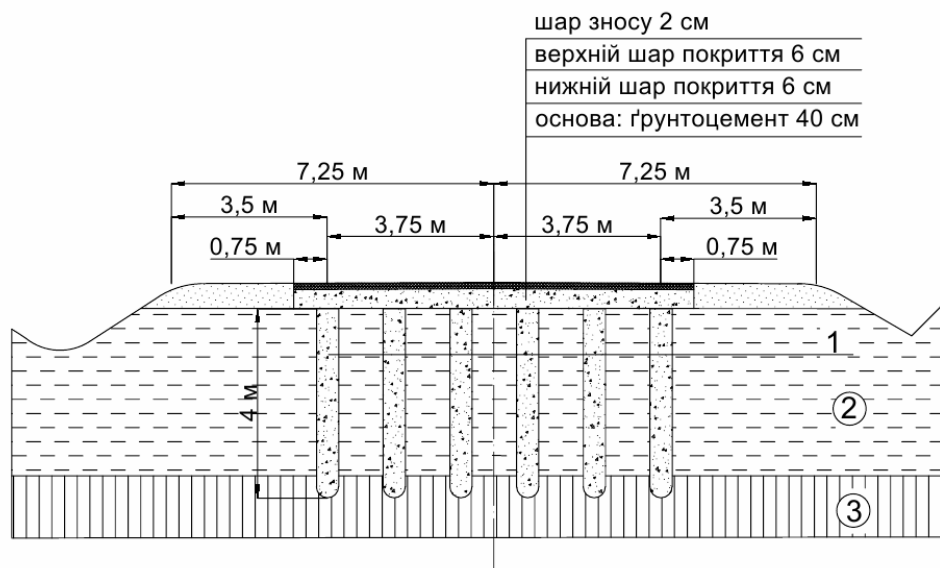


Рисунок 7 – Схема перерізу автомобільної дороги в умовах слабких ґрунтів і високого рівня ґрунтових вод:

1 – ґрунтоцементні елементи армування ґрунту;

2 – текучопластичний лесований суглинок;

3 – напівтвердий лесований суглинок

Для конкретних інженерно-геологічних умов ділянки будівництва автомобільної дороги, коли маємо високий рівень ґрунтових вод і достатньо потужний шар слабого ґрунту, покриття дороги укладається на шар ґрунтоцементу товщиною 400 мм, а слабка основа дороги на всю товщу підсилюється вертикальними ґрунтоцементними елементами для зменшення її стисливості. Шар ґрунтоцементу при початковій (через 28 діб тужавіння) міцності на стиск $R = 2$ МПа і значенні модуля деформації $E = 200$ МПа, з одного боку, є надійною конструкцією, яка сприймає навантаження від транспорту, а з іншого – це потужний гідроізоляційний шар, який слугує надійним захистом проти всіх наслідків морозного випинання. Залежно від кількості ГЦЕ, що насичують слабкий шар основи, можна знизити його стисливість до необхідних значень і уникнути нерівностей дороги, які виникають за рахунок нерівномірних деформацій основи.

Висновки. Таким чином, маємо в Україні автомобільні дороги, котрі не відповідають сучасним вимогам. Однією з причин цього явища є недостатня увага проєктувальників доріг до особливостей інженерно-геологічних умов територій України. Усі дороги, прокладені по територіях розповсюдження лесових просадочних ґрунтів, побудовані без урахування можливого їх зволоження й наступного виникнення нерівномірних осідань. Таке ж саме можна сказати і про ґрунти, що набрякають, засолені тощо. Не враховуються також такі складні геологічні явища, як зсувні, підроблені території, морозне випинання тощо. У більшості випадків ці особливості просто ігноруються при проєктуванні доріг.

На нашу думку, одним із заходів поліпшення якості автомобільних доріг в Україні може бути широке використання ґрунтоцементу як основи дорожнього покриття, яке в свою чергу може бути і заходом щодо зменшення стисливості слабких ґрунтів основи різного походження.

Література

1. Токин А. Н. Закрепление ґрунтов бурсмесительным способом / А. Н. Токин, А. Н. Шапошников // Ускорение научно-технического прогресса фундаментостроения: новейшие методы исследования строительных свойств ґрунтов, прогрессивные способы возведения фундаментов и устройства оснований: сб. тр. – М.: Стройиздат, 1987. – С. 254 – 255.
2. Бойчук В. С. Довідник дорожника / В. С. Бойчук. – К.: Урожай, 2004. – 558 с.
3. Strength properties of densely compacted cement-mixed gravelly soil / A. Ezaoui, F. Tatsuoka, S. Furusawa, K. Yirao, T. Kataoka // Proc. of the 18th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Paris. – 2013. – Vol. 1. – P. 329 – 332.
4. Deep mixing research results in under water conditions / [W. Van Impe, R. Verástegui Flores, P. Van Impe et. al.] // Proc. of the 16th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Osaka, 2005). – Millpress Science Publishers Rotterdam, 2005. – V. 3. – P. 1275 – 1278.
5. Characteristics of manmade stiff grounds improved by drill-mixing method / [M. Zotsenko, Yu. Vynnykov, I. Lartseva et al.] // Proc. of the 15th European Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Athens, 2011). – Amsterdam: IOS Press, 2011. – P. 1097 – 1102.
6. Koch E. Laboratory tests and numerical modeling for embankment foundation on soft chall silt using deep-mixing / E. Koch, R. Szepeshazi // Proc. of the 18th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Paris. – 2013. – Vol. 3. – P. 2521 – 2524.
7. Larsson S. Mixing processes for ground improvement by deep mixing. Doctoral thesis / S. Larsson. – Stockholm: Royal Institute of Technology, 2003. – 218 p.

8. Ларцева І. І. Застосування цементації ґрунтів за бурозмішувальною техно-логією для закріплення зсувонебезпечних територій / І. І. Ларцева, А. М. Ягольник // Тези доповідей 68-ї Міжнарод. наук.-практ. конф. «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту». – Д. : ДНУЗТ, 2008. – С. 138.
9. Denies N. Summary of the short courses of the IS-GI 2012 latest advances in deep mixing / N. Denies, G.V. Lysebetten // Proc. of the Intern. Symposium on Ground Improvement IS-GI. – Brussels. – 2012. – P. 73 – 123.
10. Innovative solutions in the field of geotechnical construction and coastal geotechnical engineering under difficult engineering-geological conditions of Ukraine / M. Zotsenko, Yu. Vynnykov, M. Doubrovsky, V. Oganessian, V. Shokarev, V. Syedin, A. Shapoval, M. Poizner, V. Krysan, G. Meshcheryakov // Proc. of the 18th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Paris. – 2013. – Vol. 3. – P. 2645 – 2648.
11. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения / под ред. В. А. Ильичева и Р. А. Мангушева. – М. : Изд-во АСВ, 2014. – 728 с.
12. Soft soils improvement solution. Design based on the laboratory test results on scale model / A. Chirică, A. Olteanu, M.S. Serbulea & I. Boți / Proc. of the 17th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Alexandria, 2009. – P. 405 – 408.
13. Soil mix: influence of soil inclusions on structural behaviour / [P. Ganne, N. Denies, N. Huybrechts et al.] // Proc. of the 15th European Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Athens, 2011). – Amsterdam: IOS Press, 2011. – P. 977 – 982.
14. Нестеренко Т. М. Уцілювання ґрунтоцементної суміші вібраціями / Т. М. Нестеренко // Сборник науч. трудов (строительство, материаловедение). – Дн-к: ПГАСА, 2012. – Вып. 65. – С. 174 – 181.
15. Петруняк М. В. Вплив на характеристики ґрунтоцементу літологічних особливостей ґрунту / М. В. Петруняк, М. Л. Зоценко // Будівельні конструкції: міжвід. наук.-техн. зб. – Вип. 71. – Кн. 2. – К. : НДІБК, 2008. – С. 27 – 35.
16. Marchenko V. Influence of vibration time during preparation soil-cement piles on their bearing capacity / V. Marchenko, T. Nesterenko // Conf. reports materials «Problems of energy saving and nature use 2013». – Budapest, 2014. – P. 78 – 83.
17. Rios S. Poposity/cement index to evaluate geomechanical properties of an artificial cemented soil / S. Rios, A. Viana da Fonseca // Proc. of the 18th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Paris. – 2013. – Vol. 3. – P. 2589 – 2562.
18. Петраш Р. В. Дослідження водонепроникності ґрунтоцементу, який виготовлено з піщаних ґрунтів / Р. В. Петраш, О. В. Петраш, М. В. Сидоренко // Науковий вісник КВЕІТУ. – Кременчук: КВЕІТУ, 2011. – № 4(34). – С. 38 – 42.
19. Никифорова Н. С. Опыт применения ґрунтоцементных свай при реконструкции с освоением подземного пространства / Н. С. Никифорова, Т. Г. Григорян // Численные методы расчетов в практической геотехнике: сб. статей науч.-техн. конф. – СПб. : СПбГАСУ, 2012. – С. 326 – 331.

© Зоценко М.Л., Петраш Р.В., Фоменко В.О., Стеценко О.В.
Надійшла до редакції 23.11.2015