

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

ГРАНО Наталія Володимирівна



УДК 691.41:544.032

**ГРУНТОМАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ МІНЕРАЛЬНИХ В'ЯЖУЧИХ,  
МОДИФІКОВАНИХ КОМПЛЕКСНОЮ ДОМІШКОЮ**

05.23.05 – будівельні матеріали та вироби

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Сумському національному аграрному університеті Міністерства освіти і науки України на кафедрі будівельного виробництва

**Науковий керівник:** кандидат технічних наук, професор  
**Кожушко Валерій Петрович,**  
Сумський національний аграрний університет, завідувач кафедри будівельного виробництва.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Жданюк Валерій Кузьмович,**  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, завідувач кафедри будівництва та експлуатації автомобільних доріг;

кандидат технічних наук, доцент  
**Казімагомедов Ібрагім Емірчубанович,**  
Харківський національний університет будівництва та архітектури, доцент кафедри будівельних матеріалів та виробів.

Захист відбудеться 13 листопада 2015 р. о 15<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.02 Українського державного університету залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Українського державного університету залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

Автореферат розісланий «09» жовтня 2015 р.

В.о. ученого секретаря  
спеціалізованої вченої ради,  
доктор технічних наук, професор



А.П. Фалендиш

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Традиційне будівництво автомобільних доріг в Україні пов'язане зі значною витратою енергії, матеріалів та інших ресурсів. Вартість привозних матеріалів (щебінь, пісок), їх транспортування істотно впливають на загальну вартість дорожнього одягу. Проблема забезпечення дорожньо-будівельними матеріалами може бути вирішена, головним чином, шляхом більш широкого застосування замість кондиційних піску та, особливо, щебеню в конструктивних шарах дорожніх одягів композиційних матеріалів на основі місцевих ґрунтів, відходів промисловості й в'язучих речовин.

Використовуючи матеріали на основі ґрунту, актуальним залишається питання забезпечення потрібних міцності, водо- і морозостійкості матеріалу, мінімальних усадкових деформацій.

Аналіз світового та вітчизняного досвіду дозволяє припустити, що оптимальним рішенням цієї проблеми може стати застосування ґрунтотеріалів з мінеральними та хімічними домішками, що забезпечать отримання надійних конструкцій основ доріг, будівель та споруд.

У дослідженнях, присвячених вивченню властивостей закріплених ґрунтів, з метою отримання високих показників міцності, значну увагу приділялось проблемам технологічного характеру. Проте можливість регулювання властивостей ґрунтів у достатній мірі не вивчена.

У зв'язку з цим тема дисертації, присвячена теоретичним та експериментальним дослідженням фізико-хімічних процесів, механізмів, явищ, що обумовлюють структуроутворення, формування властивостей ґрунтотеріалів, підвищення їх міцності, водо- й морозостійкості, експлуатаційної надійності при низькому рівні трудовитрат, є актуальною.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконана на кафедрі будівельного виробництва Сумського національного аграрного університету.

Виконання роботи здійснювалося в межах держбюджетної науково-дослідної роботи СНАУ за темою «Використання місцевих матеріалів та відходів промислового виробництва в будівництві» теми (№ДР 0106U009410).

**Мета дослідження** – розвиток теоретичних уявлень про процеси структуроутворення в суглинистих ґрунтах у присутності мінеральних в'язучих речовин, активних мінеральних домішок та домішок суперпластифікаторів, і розробка на цій основі складів закріпленого ґрунту підвищеної міцності, експлуатаційної надійності й довговічності з метою використання в якості основ доріг, будівель і споруд різного сільськогосподарського призначення.

**Наукова гіпотеза.** З метою покращення фізико-механічних властивостей глинистих ґрунтів – підвищення їх міцності та водостійкості, зниження деформативності та набухання – необхідне створення в їх структурі максимально можливої кількості електрогетерогенних (ЕГК) та концентраційних електрогомогенних контактів (ЕГомК).

У разі введення в ґрунт закріплюючих компонентів утворюються переважно контакти не між окремими частками ґрунту, а між їх агрегатами, всередині яких переважають ЕГомК через прошарки води, що мають низьку міцність та є неводостійкими.

Уведення добавок суперпластифікаторів – аніоноактивних поверхнево активних речовин спільно із закріплюючим компонентом сприяє пептизації – руйнуванню агрегатів ґрунту й утворенню контактів між окремими частками.

**Задачі дослідження** – для досягнення зазначеної мети з урахуванням викладеної наукової гіпотези поставлено наступні основні задачі:

- виконати аналіз існуючих даних про склади та властивості ґрунтомінеральних композитів, що використовуються з метою влаштування основ із закріпленого ґрунту, і критичний аналіз існуючих теоретичних уявлень про процеси структуроутворення в ґрунтомінеральних композитах;

- розвинути існуючі теоретичні уявлення про процеси структуроутворення в суглинистих ґрунтах у присутності цементу або вапна з додаванням суперпластифікатора й меленого шлаку;

- виконати комплексні лабораторні дослідження з метою перевірки нових теоретичних уявлень та розробки високоефективних ґрунтомінеральних композитів для влаштування основ із закріпленого ґрунту;

- виконати експлуатаційні дослідження та впровадити нові матеріали й технології при влаштуванні конструктивних шарів основ дорожнього одягу із закріплених ґрунтів.

**Об'єктом дослідження** є ґрунтоматеріали, модифіковані мінеральними в'язучими речовинами, активними мінеральними та комплексними хімічними домішками, що використовуються в якості основ доріг, будівель і споруд різного сільськогосподарського призначення.

**Предметом дослідження** є властивості, взаємодії, механізми та процеси при отриманні та використанні модифікованих ґрунтоматеріалів, що використовуються в якості основ доріг, будівель і споруд різного сільськогосподарського призначення.

**Методи дослідження.** Вивчення фізико-механічних та експлуатаційних властивостей ґрунтоматеріалів було здійснено за допомогою стандартних методик. Дослідження новоутворень ґрунтоматеріалів виконано за допомогою рентгенофазового аналізу (РГ) із застосуванням дифрактометра ДРОН-3 й інфрачервоної спектроскопії (ІЧС) – ІЧ-Фур'є-спектрометра Bruker ALPHA. Для вивчення мікро- і субмікроструктури ґрунтоматеріалів застосовано електронно-мікроскопічні дослідження за допомогою електронного скануючого мікроскопу РЭММА-102, структурні елементи надмолекулярного рівня – додатковим збільшенням за допомогою сканера та ПЕОМ.

**Ступінь достовірності та обґрунтованості результатів досліджень** забезпечений використанням в теоретичних дослідженнях фундаментальних положень та закономірностей колоїдної хімії, фізико-хімічної механіки дисперсних систем, використанням в експериментах комплексу стандартних фізико-механічних, фізико-хімічних методів досліджень, методів статичної

обробки результатів досліджень, а також підтвердженням теоретичних і експериментальних досліджень експлуатаційними дослідженнями та впровадженням при будівництві дослідної ділянки автодорожнього з'їзду.

### **Наукова новизна одержаних результатів**

1. Розвинуто теоретичні уявлення про процеси структуроутворення в суглинистих ґрунтах, закріплених цементом або вапном з доменним шлаком та з додаванням суперпластифікатора. Встановлено, що між частинками ґрунту, шлаку або гідросилікатного гелю з негативним електроповерхневим потенціалом і кристалогідратами з позитивним електроповерхневим потенціалом утворюються електрогетерогенні контакти, міцність яких забезпечується іон-іонними та іон-дипольними взаємодіями між потенціалвизначальними іонами часток ґрунту, шлаку або гелю й кристалогідратів та молекулами адсорбційних шарів води між ними.

2. Встановлено, що введення домішок суперпластифікаторів – аніоноактивних поверхнево-активних речовин спільно з закріплюючим компонентом сприяє пептизації агрегатів ґрунту й утворенню додаткової кількості контактів між окремими частинками.

3. Уперше запропоновано схеми утворення електрогетерогенних (між однойменно зарядженими частинками ґрунту та/або шарами адсорбованих протиіонів) та електрогетерогенних (між різнойменно зарядженими поверхнями частинок ґрунту, шлаку, кристалогідратів та гелевих продуктів гідратації) контактів у глинистих ґрунтах, у тому числі укріплених мінеральними в'язучими, що забезпечують підвищення міцності та водостійкості, зниження деформативності та набухання ґрунту.

4. Доведено, що додавання комплексних хімічних домішок, які містять суперпластифікатор на меламінсульфованій або нафталіновій основі й прискорювачі типу роданіду або тіосульфату натрію в ґрунтомінеральну композицію на основі суглинистих ґрунтів і цементу або вапна та меленого шлаку, забезпечує уповільнення процесу зростання зародків  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  та підвищення їх дисперсності, при цьому пори характеризуються меншими розмірами й об'ємом у порівнянні з контрольним зразком ґрунту.

**Практичне значення** отриманих результатів полягає в розробці та впровадженні нових матеріалів і технологій для улаштування основ доріг, будівель і споруд різного сільськогосподарського призначення на основі ґрунтоматеріалів з підвищеними фізико-механічними та експлуатаційними характеристиками.

Зазначені матеріали й технології успішно впроваджено при будівництві основи доріг в сільських районах Сумської області, а також при розробці «Технічних вказівок на будівництво дослідної ділянки автомобільної дороги з використанням закріпленого вапном ґрунту з хімічною домішкою суперпластифікатора С-3Р». Матеріали дисертаційної роботи впроваджені в навчальному процесі Сумського національного аграрного університету, Політехнічного технікуму КІСумДУ, а також у виробництво – на підприємствах Служби автомобільних доріг в Сумській області. Результати дисертаційної роботи

можуть бути використані як у дорожньому, так і в промисловому та в цивільному будівництві.

**Особистий внесок здобувача:**

- виконання комплексних лабораторних досліджень з метою перевірки нових теоретичних уявлень;
- розробка комплексу високоефективних ґрунтомінеральних композитів для влаштування основ із закріпленого ґрунту;
- розробка технічних вказівок з проектування та технології влаштування конструктивних прошаків дорожніх одягів із закріплених ґрунтів дослідженої композиції;
- проведення експлуатаційної перевірки результатів дослідження.

У співавторстві виконано теоретичні та експериментальні дослідження, пов'язані з розробкою теоретичних основ створення ґрунтоматеріалів на основі в'язучих, модифікованих комплексними домішками, та впроваджено результати досліджень.

Участь автора в публікаціях результатів досліджень відображена в переліку опублікованих праць.

**Апробація результатів дослідження**

Основні положення дисертаційної роботи доповідались, обговорювались та одержали позитивну оцінку на наукових та науково-практичних конференціях і семінарах, а саме: Міжнародній науково-технічній конференції молодих вчених та аспірантів «Современные технологии строительства и эксплуатации автомобильных дорог» (м. Харків, 24 – 28 квітня 2008 р.); Міжнародній науково-технічній конференції, присвяченій 80-річчю ХНАДУ та дорожньо-будівельного факультету «Проектування, будівництво і експлуатація нежорстких дорожніх одягів» (м. Харків, 28 – 29 жовтня 2010 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні методи проектування, будівництва та експлуатації систем водовідводу на автомобільних дорогах» (м. Київ, 1 – 2 березня 2012 р.); Науково-практичних конференціях викладачів, аспірантів та студентів СНАУ (м. Суми, 2010 – 2012 рр.), Всеукраїнській Інтернет-конференції молодих вчених і студентів «Проблеми сучасного будівництва» (м. Полтава, 21 – 22 листопада 2012 р.), 5-й Міжнародній науково-технічній конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті» (м. Харків, 23 – 24 квітня 2015 р.).

**Публікації.** Результати дисертаційної роботи опубліковано в 16 наукових працях, із них: 8 – статей у виданнях, рекомендованих МОН України, 2 статті – у виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз даних, 5 – тези доповідей в матеріалах наукових конференцій, 1 патент України на корисну модель.

**Структура дисертації.** Дисертація складається із вступу, 5 розділів, загальних висновків, додатків і викладена на 124 сторінках основного тексту. Повний обсяг становить 177 сторінки і містить 59 рисунків, 25 таблиць, список літературних джерел із 174 найменувань на 20 сторінках, 4 додатки на 11 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертації. Сформульована мета та поставлені задачі дослідження, визначено об'єкт і предмет дослідження, наукова новизна та практичне значення отриманих результатів. Відображені основні наукові положення й результати досліджень, які виносяться на захист. Наведено відомості про структуру дисертації, публікації та апробацію роботи.

У першому розділі виконано аналіз існуючих даних про склади та властивості ґрунтомінеральних композитів, які використовуються при влаштуванні основ із закріпленого ґрунту.

Серед найбільш розповсюджених способів закріплення ґрунтів можна відокремити закріплення мінеральними (цемент, вапно) або органічними (бітуми, емульсії) в'язучими, просочення розчинами мінеральних або полімерних матеріалів (цементация, бітумізація, силікатизація та інші). Але просочення розчинами суглинків пов'язане зі значними технологічними труднощами і часто неможливе.

Вагомий внесок у дослідження властивостей закріплених вапном ґрунтів доклали Н.Н. Беляєв, Є.Г. Борисова, Г.Н. Левчановський, А.В. Левченко, В.В. Охотін, М.Н. Першин, Є.І. Путилін, Н.Ф. Сасько, О.Г. Таскаєв, В.В. Швайко. Дослідження вчених показали, що використання вапна змінює фізико-хімічні властивості ґрунтів: зменшує пластичність, підсушує перезволожені ґрунти, покращує ущільнення ґрунтів, знижує усадку та набухання ґрунтів, підвищує міцність при стиску, особливо у водонасиченому стані.

Способи закріплення ґрунтів цементом висвітлені в роботах В.М. Безрука, В.М. Могилевича, С.С. Морозова, Л.Д. Тимофєєвої, О.В. Тюменцевої, Р.П. Щербакова. Отримані ґрунтотеріали характеризуються високою міцністю на стиск та вигин, водо- й морозостійкістю при дотриманні оптимальних дозувань й умов структуроутворення. Основним недоліком є вартість в'язучого, обмеженість видів ґрунтів, які можна закріплювати таким способом. Для ґрунтів, закріплених цементом, характерна швидка зміна реологічних властивостей, що значно впливає на процес їх ущільнення. Ці обставини вимагають обмеження тривалості усіх операцій з приготування, укладання й ущільнення суміші.

Основний чинник, що відрізняє систему «вапно – ґрунт» від системи «цемент – ґрунт», є підвищена пористість. Це й визначає високе водонасичення, низьку морозостійкість ґрунтів, закріплених вапном. Вапно, як сильний коагулятор, викликає інтенсивну коагуляцію дрібнодисперсних часток ґрунту. При цьому різко збільшується доля великих часток і зменшується вміст в ґрунті глинисто-колоїдної фракції.

Одним із ефективних матеріалів, що використовується в будівництві, є активний гранульований доменний шлак, який може одночасно виконувати функцію заповнювача та в'язучого. Однак широкого використання в якості в'язучого шлак не отримує у зв'язку з уповільненим ростом міцності в ранні терміни. Цьому заважають оболонки на поверхні шлакових зерен з продуктів гідролізу та гідратації, які складаються, в основному, з гелю кремнезему та гідроксиду алюмінію. Відомо, що при наявності сульфатно-лужних з'єднань вони

руйнуються та забезпечують постачання в систему іонів, які необхідні для формування стабільних гідратів. Відповідно, з метою підвищення ефективності застосування шлаків, є необхідність у модифікуванні їх домішками.

Наявні дослідження не дають належного уявлення щодо різних аспектів використання гранульованих шлаків для закріплення ґрунтів. Особливо це стосується можливості їх використання спільно з хімічними реагентами сульфатно-лужного типу, що здатні активувати шлакові компоненти. Зазначена активація є можливою й необхідною для ефективного використання шлаків, особливо в закріплених ґрунтах.

У деяких сільських районах Сумської області можна спостерігати дороги IV-V категорії, для будівництва яких використовувались ґрунти, закріплені мінеральними в'язучими в комплексі з доменним гранульованим шлаком. Під час обстеження дорожнього одягу спостерігається задовільна рівність покриття, але на значних ділянках було виявлено просідання всього дорожнього одягу й повздовжні тріщини, що пов'язані з деформацією полотна. Результати обстеження підтвердили можливість використання шлаку в дорожньому будівництві, за умови надання дорожньому одягу властивостей водонепроникності, підвищеної деформативності та морозостійкості.

Оскільки поверхня ґрунту високорозвинута, то особливого значення набувають поверхневі явища, які визначають його структурно-механічні властивості. У роботах низки авторів показано, що фізико-хімічні процеси на поверхні частинок ґрунту можуть бути істотно змінені під час використання електролітів та ПАР. Це дослідження В.М. Безрука, І.П. Гаркавенко, І.Л. Гурячкова, І.С. Дьожина, В.К. Жданюка, Н.С. Колбас, Т.Ю. Любімової, М.Н. Першина, Є.І. Путіліна, В.С. Сокирського.

Уведення хімічних домішок-електролітів дає змогу покращити водо- та морозостійкість ґрунтів, але коагуляція, яка при цьому виникає, може призводити до погіршення рівномірності розподілення частинок в масиві ґрунту й значного зниження показників якості закріплених ґрунтів.

Уведення домішок суперпластифікаторів – аніоноактивних поверхнево активних речовин спільно із закріплюючим компонентом сприяє пептизації – руйнуванню агрегатів ґрунту й утворенню контактів між окремими частинками.

Аналіз існуючих наукових розробок свідчить, що в дослідженнях, присвячених вивченню властивостей закріплених ґрунтів, основну увагу приділено проблемам технологічного характеру з метою отримання високих показників міцності. До теперішнього часу приділялось недостатньо уваги дослідженню процесів структуроутворення в закріплених ґрунтах та розробці способів регулювання їх властивостей в присутності домішок суперпластифікаторів.

**У другому розділі** наведено характеристики основних матеріалів і методів досліджень, що використовувались у дисертації. В експериментальних дослідженнях для укріплення був прийнятий ґрунт – рихлий суглинок слабопучинистий без органічних включень дуже низької міцності, не мерзлий. Як мінеральні в'язучі застосовували: вапно повітряне швидкого гашення, першого



сорту (ВП-А-1 ДСТУ Б В.2.7-90-2011); портландцемент ПЦ І-500 ДСТУ Б В.2.7-112-2002 виробництва ПАТ «Євроцемент Україна» («балаклейський»).

Активна мінеральна домішка – шлак для дорожнього будівництва ТУ У В.2.7.03450778 096-99 виробництва ПАТ «МК «Азовсталь» («маріупольський»), що відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-149:2008.

Вода для укріплення ґрунтів і приготування розчинів хімічних домішок за ДСТУ Б В.2.7-273:2011.

У дисертаційному дослідженні визначалась сумісність ґрунтомінеральної композиції з хімічними домішками трьох типів системи «Релаксол»: Темп-2 – прискорювач тужавіння з пластифікуючим ефектом; С-3Р – суперпластифікатор з протиморозною дією; Супер ПК – комплексна домішка суперпластифікатор.

До складу обраних домішок, крім основного продукту – суперпластифікатора на нафталін- або меламінсульфованій основі, входять прискорювачі типу роданідів або тіосульфатів натрію. У якості протиморозного компонента в запропонованих домішках використовують нітриту, нітрати натрію.

Дослідження властивостей ґрунтів, шлаку, вапна та цементу, що використовувалися для закріплення, виконано на базі лабораторії ДП «Сумський облавтодор», ВАТ «Хімпром» (м. Суми) відповідно до стандартних методик. Технічні характеристики хімічної домішки системи «Релаксол» приймали за паспортними даними.

З метою отримання достовірних даних про фазовий склад ґрунтомінеральних систем використовували комплекс незалежних методів: рентгенографічний (РГ) – за допомогою дифрактометра ДРОН-3, інфрачервоної спектроскопії (ІЧС) – ІЧ-Фур'є-спектрометра Bruker ALPNA. Для вивчення мікро- і субмікроструктури застосовували методи електронної мікроскопії за допомогою електронного скануючого мікроскопу РЕММА-102.

**Третій розділ** присвячений розвитку існуючих теоретичних уявлень про процеси структуроутворення в суглинистих ґрунтах в присутності мінеральних в'язучих, суперпластифікатора й меленого шлаку.

Для всіх компонентів ґрунтомінеральних сумішей характерні достатньо виражені електроповерхневі властивості й відповідні взаємодії.

Розрахунковим шляхом визначені електроповерхневі потенціали суглинку й гранульованого доменного шлаку.

Відповідно, абсолютний електроповерхневий потенціал частинок монтморилоніту складає  $-0,22$  В, гранульованого доменного шлаку  $+0,49$ В. Рівноважний електроповерхневий потенціал для монтморилоніту (при рН6) складає  $-0,57$  В, для доменного гранульованого шлаку (при рН7)  $+0,08$  В.

Запропоновані схеми утворення ЕГК і ЕГомК у глинистих ґрунтах, у тому числі закріплених мінеральними в'язучими, що забезпечують підвищення міцності та водостійкості, зниження деформативності та набухання ґрунту.

Механізм збільшення міцності в закріплених зв'язних ґрунтах залежить від заряду поверхні частинок, який може різнитися за знаком. Загальна міцність ґрунтоматеріалу визначається кількістю одиничних ЕГК і ЕГомК.

У вологих та обводнених глинистих ґрунтах у природному стані їх фізико-механічні властивості забезпечуються ЕґомК між частинками з багатьма мономолекулярними шарами води (рис. 1), а також капілярними силами. Міцність контактів забезпечується міжмолекулярними взаємодіями. Такі контакти обумовлюють низьку міцність і водостійкість, значну деформативність і набухання ґрунту.

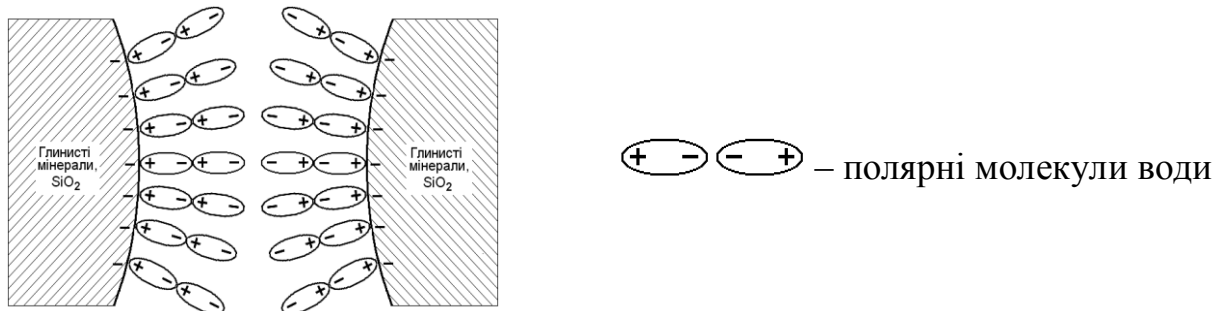


Рис. 1. Утворення у вологих та обводнених глинистих ґрунтах у природному стані електрогетерогенних контактів між частинками з багатьма мономолекулярними шарами води

За умови ущільнення ґрунтів трамбуванням або осушення електроосмотичним способом їх фізико-механічні властивості забезпечуються електрогетерогенними контактами між частинками з одним або декількома мономолекулярними шарами води. Міцність контактів забезпечується міжмолекулярними взаємодіями. Такі контакти обумовлюють деяке підвищення міцності та зниження деформативності, проте низьку водостійкість, значне набухання ґрунту.

У глинистих ґрунтах, закріплених електролітами (електрохімічне закріплення  $CaCl_2$ ), між частинками утворюються концентраційні ЕґомК (рис. 2). Міцність контактів забезпечується іон-дипольними взаємодіями між катіонами закріплюючих розчинів ( $Ca^{2+}$ ) і молекулами адсорбційних шарів води на поверхні частинок ґрунту. Такі контакти обумовлюють певні підвищення міцності та зниження деформативності, проте – низьку водостійкість і значне набухання ґрунту.

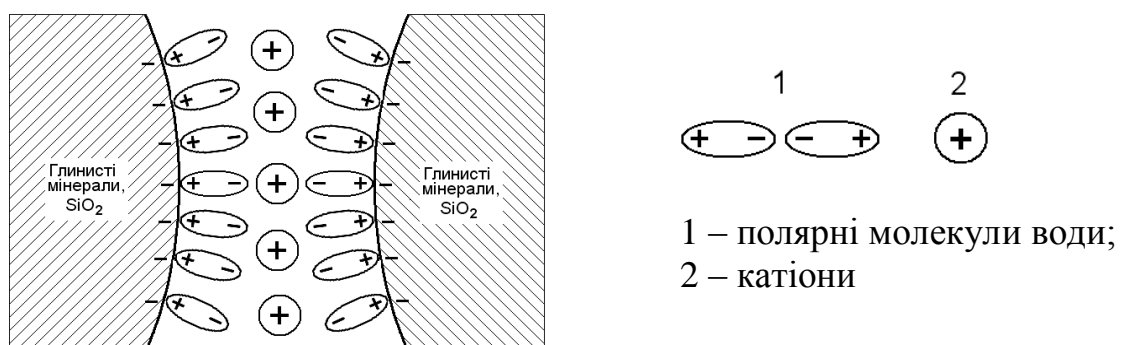


Рис. 2. Утворення в глинистих ґрунтах, закріплених електролітами, електрогетерогенних концентраційних контактів між частинками

Під час закріплення ґрунтів мономінеральними в'язучими, що утворюють тільки кристалогідратні продукти (вапнякування з кристалізацією  $Ca(OH)_2$  та його карбонізацією в  $CaCO_3$ ), утворюються ЕГК між частинками ґрунту й кристалогідратами, рис. 3. Міцність контактів забезпечується іон-іонними й іон-дипольними взаємодіями між потенціалвизначальними іонами частинок ґрунту й кристалогідратів і молекулами адсорбційних шарів води між ними. Такі контакти забезпечують підвищення міцності та водостійкості, зниження деформативності та набухання ґрунту.

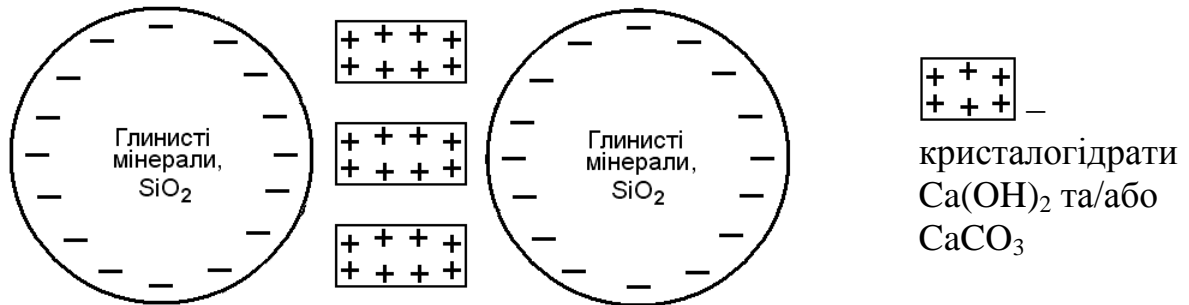


Рис. 3. Утворення в глинистих ґрунтах, укріплених мономінеральними в'язучими, електрогетерогенних контактів між частинками ґрунту й кристалогідратами.

Адсорбційні шари води на поверхні частинок глинистого ґрунту та кристалогідратів умовно не показані

У глинистих ґрунтах, закріплених мінеральними в'язучими, що утворюють кристалогідратні та гелеві продукти гідратації (закріплення портландцементом або вапном і меленим шлаком), утворюються електрогетерогенні контакти між частинками ґрунту або гелю та кристалогідратами (рис.4). Міцність контактів забезпечується іон-іонними та іон-дипольними взаємодіями між потенціалвизначальними іонами частинок ґрунту й гелю та кристалогідратів і молекулами адсорбційних шарів води між ними. Такі контакти забезпечують найбільші підвищення міцності та водостійкості, зниження деформативності та набухання ґрунту.

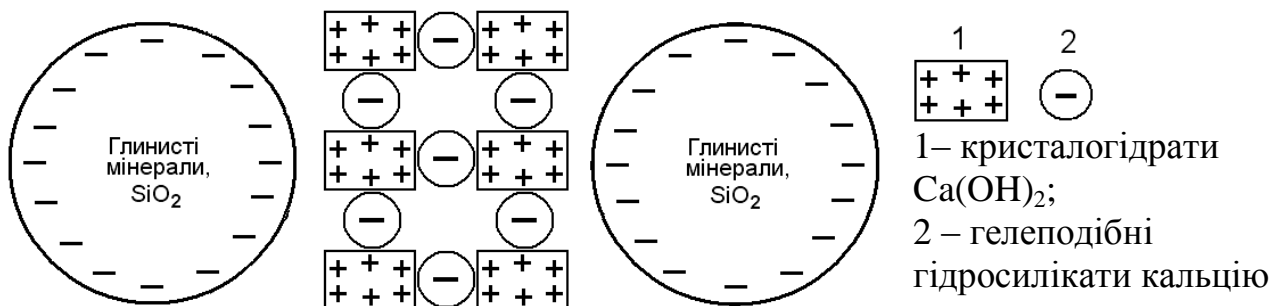
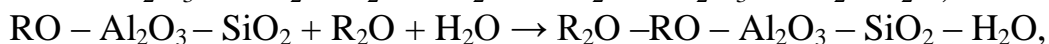
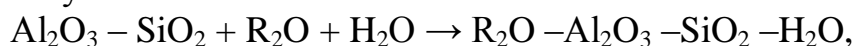


Рис. 4. Утворення в глинистих ґрунтах, закріплених мінеральними в'язучими, для яких характерні кристалогідратні та гелеві продукти гідратації, електрогетерогенних контактів між частинками ґрунту або гелю та кристалогідратами. Адсорбційні шари води на поверхні частинок глинистого ґрунту, кристалогідратів і гелевих частинок умовно не показані

Сформульовані основні теоретичні положення механізму твердіння суглинистого ґрунту, закріпленого цементом або вапном у присутності суперпластифікатора комплексної дії та шлаку.

На початковому етапі приготування та укладання суміші ґрунту, в'язучого, шлаку й суперпластифікатора відбувається адсорбція суперпластифікатора та перезарядка не тільки позитивно заряджених ділянок частинок в'язучого, але й тонкодисперсних частинок ґрунту. Це потребує підвищення витрат суперпластифікатора в порівнянні з традиційно рекомендованим під час приготування бетонних та розчинних сумішей. Відбувається руйнування мікроагрегатів глинистих частинок. З агрегатів вивільняється надлишкова кількість води, яка при ущільненні системи віджимається на поверхню та випаровується. Крім цього, полегшується ущільнення ґрунтоцементу за рахунок зниження сил тертя між частинками. При адсорбції ПАР на позитивно заряджених ділянках в'язучого виникає блокування цих ділянок, що буде уповільнювати твердіння в'язучого в перші години.

На другому етапі при ущільненні закріпленого ґрунту виникає гідроліз аліту або вапна й насичення рідкої фази продуктами гідролізу. Під час цього етапу відбувається повторна коагуляція частинок ґрунту, обумовлена надходженням іонів  $\text{Ca}^{2+}$  й підсилена зовнішнім тиском. При цьому в ґрунті утворюється коагуляційна структура й виникають ЕГК і ЕГомК. Наявність у ґрунтомінеральній суміші домішки «С-3Р», що містить тіосульфат амонію, й підвищення лужного середовища за рахунок вапна призведе до вступу в реакцію шлакових мінералів з утворенням гідроалюмінатів і гідросилікатів кальцію за схемами твердіння шлаколужних вяжучих:



де: RO – оксиди кальцію, магнію, барію тощо;

$\text{R}_2\text{O}$  – оксиди алюмінію, заліза, хрому тощо.

За рахунок зазначених процесів забезпечується рання міцність закріпленого ґрунту. Додавання меленого шлаку покращує гранулометрію ґрунту, утворюючи щільний та міцний каркас. При додаванні цементу рання міцність забезпечується також за рахунок утворення гідроалюмінатів та гідросульфоалюмінатів кальцію.

Твердіння вапна після першої доби відбувається також за карбонатним механізмом, що додає свій внесок в збільшення міцності закріпленого ґрунту. У подальшому структуроутворення в закріпленому цими домішками суглинистому ґрунті забезпечується за рахунок пуцоланової реакції, ущільнення та зміцнення початкової коагуляційної структури і її переходу в кристалізаційну з утворенням переважно одиничних ЕГК. Переважаючим стає гідросилікатний механізм структуроутворення і виникаючі низькоосновні гідросилікати кальцію ущільнюють структуру, заповнюючи пори та капіляри в ґрунті та створюючи водонепроникні плівки. Ці процеси відбуваються в закріпленому ґрунті досить тривало й обумовлюють покращення його характеристик і після 28 діб.

**У четвертому розділі** наведені результати експериментальних досліджень, спрямованих на перевірку основних теоретичних положень.

На підставі виконаних досліджень розроблено оптимальні склади ґрунтомінеральних композитів на основі суглинистих ґрунтів і цементу або вапна й доменного гранульованого шлаку із додаванням комплексних хімічних домішок, що містять суперпластифікатор на меламінсульфованій або нафталіновій основі та прискорювачі типу роданідів або тіосульфатів натрію:

- 1) ґрунт – 90,9%, цемент – 9,1%, С-ЗР – 1,5% (від маси в'язучого);
- 2) ґрунт – 71,4%, вапно – 7,2%, шлак – 21,4%, С-ЗР – 1,5%.

Експериментально доведено збільшення міцності на стиск і морозостійкості зразків ґрунтоматеріалів, модифікованих комплексними хімічними домішками – для ґрунтоматеріалів на основі цементу збільшення міцності склало 13% (4 МПа), коефіцієнта морозостійкості 30,8% (0,9), на основі вапна й шлаку, відповідно – 28,6% (4,5 МПа) і 20% (0,8), табл. 1.

Таблиця 1

Міцність зразків закріпленого ґрунту в віці 28 діб

Найменування матеріалу	Вміст компонентів, %								
	Номер складу суміші								
	1 <sup>1</sup>	2 <sup>2</sup>	3 <sup>3</sup>	4	5	6	7	8	9
Ґрунт	100	100	100	90,9	90,9	90,9	90,9	71,4	71,4
Цемент				9,1	9,1				
Вапно						9,1	9,1	7,2	7,2
Шлак								21,4	21,4
Релаксол С-ЗР					1,5		1,5		1,5
R <sub>ст</sub> , МПа	0,19	0,3	0,4	2,47	4	0,85	1	3,5	4,5

<sup>1</sup> – Міцність суглинку нормальної вологості 5 – 30% (прийняте значення 1,9 кг/см<sup>2</sup>);

<sup>2</sup> – Міцність сухого суглинку після механічного ущільнення – 2,5 – 3,0 кг/см<sup>2</sup> (прийняте значення 3,0 кг/см<sup>2</sup>);

<sup>3</sup> – Міцність важкого суглинку після осушення за допомогою електрообробки 2,5 – 4,0 кг/см<sup>2</sup> (прийняте значення 4,0 кг/см<sup>2</sup>).

Ґрунтоматеріал є колоїдною дисперсною системою, дисперсна фаза якої складається з маленьких частинок з прошарком рідини між ними, частина з яких скоагулювала, утворюючи флокули. За допомогою електронно-мікроскопічних методів досліджена мікро- й субмікроструктура закріпленого ґрунту, що складається з не до кінця гідратованих зерен в'язучого, зв'язаних пружно-пластичними кристалогідратним каркасом, що складається з субмікроскопічних частинок портландиту, еtringіту й гідромоносульфоалюмінату кальцію, укритих водонасиченим високодисперсним гідросилікатним гелем, який складається з глобул, утворених з ще дрібніших частинок гелю. Дисперсійним середовищем є фізико-хімічно зв'язна вода.

Уведення запропонованої комплексної домішки в ґрунтомінеральну суміш перешкоджає утворенню фазових контактів між кристалами. Адсорбційний шар пластифікатора, що входить до складу домішки, суттєво сповільнює процес росту

зародків  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  та спричиняє підвищенню їх дисперсності. Пори в присутності домішки характеризуються меншими розмірами й об'ємом у порівнянні з контрольним зразком ґрунту. У цілому, формується досконаліша дрібнокристалічна структура, у якій відзначається більше число мікроконтактів між кристалогідратами. Спільний ефект зростання кількості контактів і їх ущільнення призводить до збільшення показників міцності (рис. 5, 6).

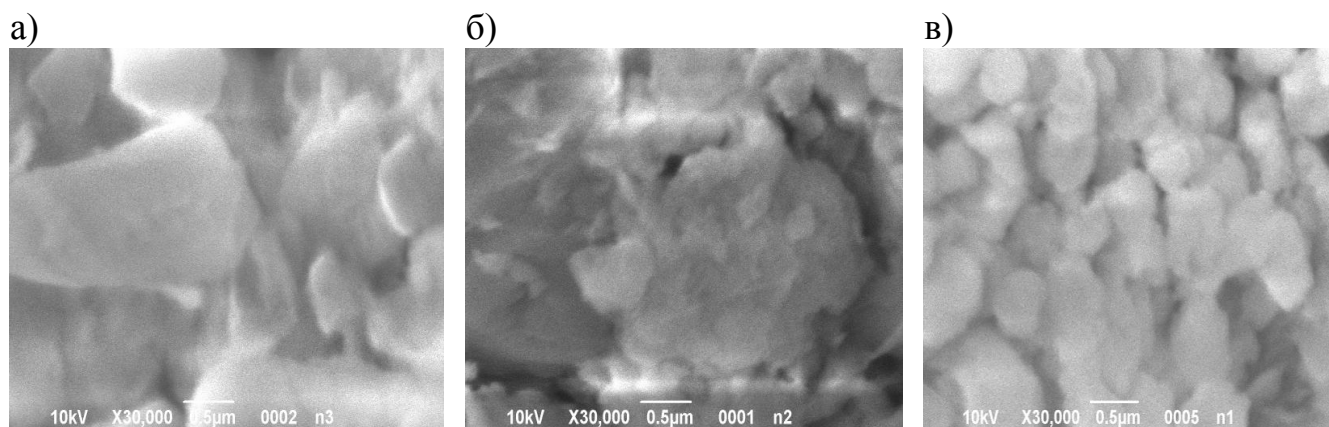


Рис. 5. Мікроструктура ґрунту у віці 14 діб,  $\times 30000$ :

- а) ґрунт, закріплений вапном;
- б) ґрунт, закріплений вапном з додаванням хімічної домішки;
- в) ґрунт, закріплений вапном зі шлаком та хімічною домішкою

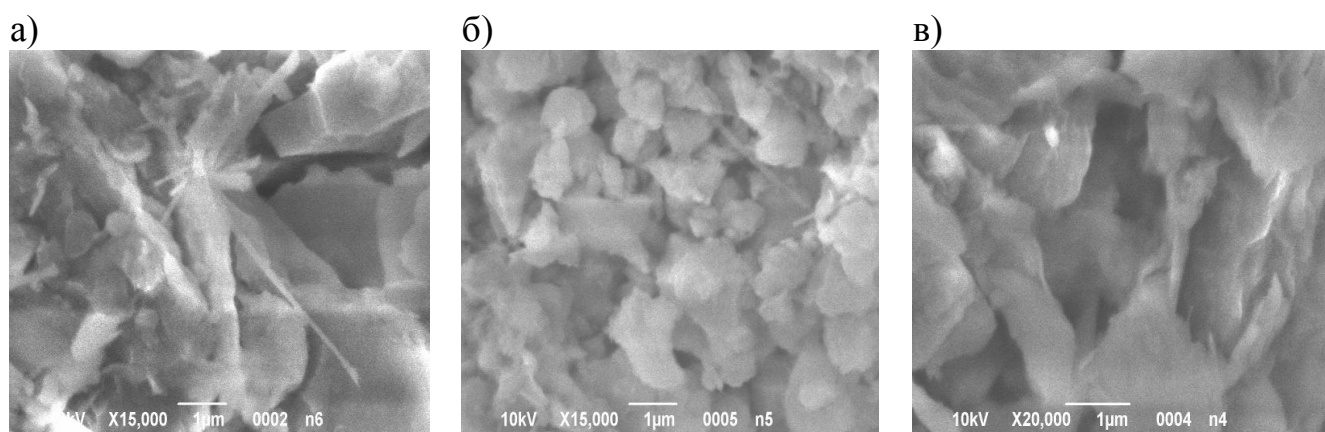


Рис. 6. Мікроструктура ґрунту у віці 180 діб:

- а) ґрунт, закріплений вапном,  $\times 15000$ ;
- б) ґрунт, закріплений вапном з додаванням хімічної домішки,  $\times 15000$ ;
- в) ґрунт, закріплений вапном зі шлаком та хімічною домішкою,  $\times 20000$

Проведено порівняльні дослідження мікроструктури зразків закріпленого ґрунту, витриманого протягом 28 діб при вологості повітря 50% і 90%. Під час додавання комплексних хімічних домішок для зразків, що тверднули як в вологих, так і в нормальних умовах, характерна досить щільна структура, пори заросли гідратними новоутвореннями, або знаходяться в стадії заростання.

За даними досліджень, за допомогою методів РГ, ІЧС, фазовий склад в процесі твердіння ґрунтоматеріалів практично не змінюється з додаванням

комплексних хімічних домішок, але ступінь гідратації підвищується в порівнянні з контрольними зразками, спостерігається збільшення вмісту зв'язної води, що може свідчити про формування більшої кількості ЕГК. Отже, підтверджується інтенсифікація процесу структуроутворення.

Експериментальні дослідження та одержані висновки підтвердили коректність розвинутих теоретичних уявлень про процеси структуроутворення в суглинистих ґрунтах у присутності мінеральних в'язучих, доменного шлаку, комплексної хімічної домішки.

**П'ятий розділ** присвячений впровадженню та експлуатаційній перевірці результатів досліджень.

Запропонована технологічна схема влаштування основ дорожнього одягу з закріплених ґрунтів підвищеної міцності.

Здійснено дослідно-виробниче будівництво дослідної ділянки автодорожнього з'їзду в Конотопському р-ні, Сумської обл.

Експертне обстеження ділянки показало високу якість основи із закріпленого вапном ґрунту за умови додавання комплексної хімічної домішки.

Основний економічний ефект за період упровадження розробок по дисертації склав 13598 грн. У порівнянні з традиційною технологією закріплення ґрунтів і з урахуванням підвищення довговічності (в 1,67 рази) економія склала 34,00 грн. / м<sup>2</sup> (31%).

Технічна ефективність використання ґрунтів, закріплених мінеральними в'язучими, активними мінеральними домішками з додаванням комплексних хімічних домішок полягає в тому, що:

- у певних районах розширюється номенклатура дорожньо-будівельних матеріалів;

- звільняється значна кількість транспортних засобів, зайнятих перевезенням будівельних матеріалів;

- влаштування конструктивних шарів із закріплених ґрунтів із запропонованих матеріалів може виконуватися з використанням існуючих засобів механізації і не потребує складних, вартісних механізмів.

- з'являється можливість поновити рух транспорту на 4 добу, тим самим зменшити технологічну перерву.

## **ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ**

1. Традиційне будівництво автомобільних доріг в Україні пов'язане із значною витратою енергії, матеріалів та інших ресурсів. Проблема забезпечення дорожньо-будівельними матеріалами може бути вирішена шляхом більш широкого застосування в конструктивних шарах дорожніх одягів композиційних матеріалів на основі місцевих ґрунтів, відходів промисловості й мінеральних в'язучих речовин.

2. Виконаний аналіз існуючих даних про склад, властивості й теоретичні уявлення про процеси структуроутворення в ґрунтомінеральних композитах показав, що закріплення суглинистих ґрунтів мінеральними в'язучими

речовинами не забезпечує достатнього поліпшення їх фізико-механічних властивостей. Це пов'язано з недосконалістю теоретичних уявлень про процеси структуроутворення в суглинистих ґрунтах у присутності мінеральних в'язучих речовин і активних мінеральних домішок. Вони не повною мірою відображають їхню реальну мікро- і субмікроструктуру, електроповерхневі властивості їх структурних елементів. Можливість використання домішок суперпластифікаторів для регулювання властивостей ґрунтів у достатній мірі не вивчена.

### 3. Розвинуто теоретичні уявлення:

– про процеси структуроутворення в суглинистих ґрунтах у присутності цементу або вапна з доменним шлаком та з додаванням суперпластифікатора, відповідно до яких в ґрунтах утворюються електрогетерогенні контакти між частинками ґрунту, шлаку або гелю з негативним електроповерхневим потенціалом і кристалогідратами з позитивним електроповерхневим потенціалом;

– про забезпечення міцності електрогетерогенних контактів за рахунок іон-іонних та іон-дипольних взаємодій між потенціалвизначальними іонами частинок ґрунту, шлаку, гелю й кристалогідратів та молекулами адсорбційних шарів води між ними;

– про утворення додаткової кількості контактів між окремими частинками при уведенні домішок суперпластифікаторів – аніоноактивних поверхнево-активних речовин спільно з закріплюючим компонентом – за рахунок пептизації агрегатів ґрунту.

4. Підвищення міцності та водостійкості, зниження деформативності та набухання глинистих ґрунтів, у тому числі укріплених мінеральними в'язучими, забезпечено за рахунок використання речовин із протилежними за знаком електроповерхневими потенціалами та утворення електрогетерогенних (між різнойменно зарядженими поверхнями частинок ґрунту, шлаку, кристалогідратів та гелевих продуктів гідратації) контактів.

5. Лабораторно-експериментальні дослідження підтвердили можливість удосконалення методів отримання ґрунтоматеріалів за рахунок додавання комплексних хімічних домішок системи «Релаксол», що містять суперпластифікатор на меламінсульфоновій або нафталіновій основі й прискорювачі типу роданідів або тіосульфатів натрію.

6. За даними електронно-мікроскопічних досліджень встановлено, що додавання зазначених домішок у ґрунтомінеральну композицію на основі суглинистих ґрунтів і цементу або вапна та шлаку забезпечує уповільнення процесу зростання зародків  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  та підвищення їх дисперсності.

7. Експериментально доведено збільшення міцності на стиск і морозостійкості зразків ґрунтоматеріалів, модифікованих комплексними хімічними домішками – для ґрунтоматеріалів на основі цементу збільшення міцності склало 13% (4 МПа), коефіцієнта морозостійкості 30,8% (0,9), на основі вапна й шлаку, відповідно – 28,6% (4,5 МПа) і 20% (0,8). Комплексні фізико-хімічні дослідження підтвердили підвищення ступеня гідратації та щільності ґрунтоматеріалів під час додавання хімічних домішок.



8. Розроблено та впроваджено комплекс економічних і високоефективних ґрунтомінеральних композитів підвищеної міцності, експлуатаційної надійності та довговічності для влаштування основ автомобільних доріг із закріпленого ґрунту.

9. За результатами досліджень розроблені та затверджені «Технічні вказівки на будівництво дослідної ділянки автомобільної дороги з використанням закріпленого вапном ґрунту з хімічною домішкою суперпластифікатора С-3Р», отримано патент України на корисну модель.

10. Матеріали дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі Сумського національного аграрного університету та Конотопського Політехнічного технікуму Конотопського інституту Сумського державного університету при підготовці фахівців будівельних спеціальностей.

11. Основний економічний ефект за період упровадження розробок по дисертації склав 13598 грн. Він обумовлений виконанням будівництва дослідної ділянки автодорожнього з'їзду в Сумській області. У порівнянні з традиційною технологією закріплення ґрунтів і з урахуванням підвищення довговічності (в 1,67 рази) економія склала 34,00 грн. / м<sup>2</sup> (31%).

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### *Статті в наукових фахових виданнях України:*

1. Кожушко В.П. Химико-технологические аспекты влияния добавок системы «Релаксол» на ґрунтомінеральную композицию / В.П. Кожушко, Н.В. Грано // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: Наук.-техн. зб. – К.: НТУ, 2012. – Вип. 84. – С. 64 – 71.

*Особистий внесок:* визначено технологічний ефект від введення комплексних домішок в ґрунтомінеральну суміш.

2. 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 // Вісник Сумського нац. аграрного ун-ту. Серія «Будівництво». – Суми, 2012. – Вип. 5 (16). – С. 32 – 35.

*Особистий внесок:* розроблено технологічні операції виконання робіт по влаштуванню основи дорожнього покриття з додавання хімічних домішок.

3. Грано Н.В. Поліпшення будівельних властивостей ґрунтових основ дорожніх покриттів хімічною домішкою системи «Релаксол» / Н.В. Грано, В.П. Кожушко // Вісник Донбаської нац. академії будівництва і архітектури. Серія «Технологія, організація, механізація та геодезичне забезпечення будівництва». – Донецьк, 2011. – Вип. 6 (92). – С. 132 – 135.

*Особистий внесок:* проведено аналіз результатів фізико-механічних та рентгенографічних досліджень.

4. Грано Н.В. Дериватографический анализ образцов связных ґрунтов, укреплённых известью и химической добавкой «Релаксол» / Н.В. Грано, В.П. Кожушко, В.Б. Ткаченко // Вісник Сумського нац. аграрного ун-ту. Серія «Будівництво». – Суми, 2011. – Вип. 10 (15). – С. 29 – 33.

*Особистий внесок:* виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз їх даних.

5. Грано Н.В. Химические процессы в системе бетонной смеси и присутствии добавки «Релаксол» / Н.В. Грано // Вісник Сумського нац. аграрного ун-ту. Серія «Будівництво». – Суми, 2011. – Вип. 10 (15). – С. 27 – 29.

6. Кожушко В.П. Вплив домішки системи «Релаксол» на формування ґрунтоцементної композиції / В.П. Кожушко, Н.В. Грано // Вісник Сумського нац. аграрного ун-ту. Серія «Будівництво». – Суми, 2007. – Вип. 12 (12). – С. 52 – 54.

*Особистий внесок:* досліджено особливості пороутворення при формуванні ґрунтоцементної композиції в присутності комплексних домішок.

***Публікації у міжнародних виданнях чи збірниках, що включені до міжнародних наукометричних баз:***

7. Грано Н.В. Развитие теоретических представлений о формировании первичной структуры ґрунтоматериалов в присутствии суперпластификатора / Н.В. Грано // Зб. наук. праць Українського державного університету залізничного транспорту. – Х., 2015. – Вип. 153. – С. 170 – 179.

8. Грано Н.В. Фізичні і фізико-хімічні процеси, що протікають в укріплених ґрунтах / Н.В. Грано // Вісник Сумського нац. аграрного ун-ту. Серія «Будівництво». – Суми, 2013. – Вип. 8(17). – С. 35 – 38.

***Статті в збірниках за матеріалами конференцій:***

9. Грано Н.В. Развитие теоретических представлений о формировании первичной структуры ґрунтоматериалов / Н.В. Грано // 5-а Міжнародна науково-технічна конференція з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті»: Тези доповідей. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – С. 38.

10. Грано Н.В. Забезпечення морозостійкості ґрунтів, укріплених вапном / Н.В. Грано // Проблеми сучасного будівництва: матеріали всеукр. інтернет-конф. молодих учених і студентів. – Полтава: ПолтНТУ, 2012. – С. 123 – 127.

11. Грано Н.В. Характеристика мікроструктури зразків укріпленого ґрунту вапном з домішкою «Релаксол» / Н.В. Грано // Матеріали наук. конф. студентів Сумського НАУ: в 3-х т. / – Суми: Університетська книга, 2011. – Т. III. – С. 55.

12. Грано Н.В. Рентгенофазовий аналіз ґрунтоизвесткової композиції с добавкою системи «Релаксол» / Н.В. Грано // Матеріали наук.-практ. конф. викладачів, аспірантів та студентів Сумського НАУ: в 3-х т. – Суми: Університетська книга, 2011. – Т. III. – С. 105.

13. Грано Н.В. Композиція для укріплення зв'язних ґрунтів / Н.В. Грано // Матеріали наук.-практ. конф. викладачів, аспірантів та студентів Сумського НАУ: в 3-х т. – Суми: Університетська книга, 2010. – Т. III. – С. 104.

14. Грано Н.В. Композиція для укріплення зв'язних ґрунтів / Н.В. Грано, В.П. Кожушко // Проектування, будівництво і експлуатація нежорстких дорожніх одягів: мат. міжнар. наук.-техн. конф., яка присвячена 80-річчю ХНАДУ та дорожньо-будівельного ф-ту. – Харків: ХНАДУ, 2010. – С. 95 – 97.

*Особистий внесок:* виконано експериментальні дослідження та проведено аналіз їх даних.

15. Грано Н.В. Про деякі аспекти структуроутворення при тужавінні композиції «грунт-цемент-релаксол» / Н.В. Грано, В.П. Кожушко // Современные технологии строительства и эксплуатации автомобильных дорог: материалы междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых и аспирантов. – Харьков: ХНАДУ, 2008. – С. 159 – 164.

*Особистий внесок:* виконано і проаналізовано електронно-мікроскопічні дослідження ґрунтомінеральних композицій в присутності комплексної домішки.

#### ***Додаткові публікації:***

16. Пат. 58654 UA, МПК E01C 3/00, E02D 3/00, E01C 21/00, E01C 23/00, E02D 27/10, E02D 5/34. Композиція для укріплення зв'язних ґрунтів / Кожушко В.П., Грано Н.В.; заявник та патентовласник Сумський нац. аграрний ун-т. – № u 201009294; заявл. 23.07.2010; опубл. 26.04.2011, Бюл. № 8, 2011.

*Особистий внесок:* сформульовано формулу корисної моделі.

### **АНОТАЦІЯ**

**Грано Н.В. Ґрунтоматеріали на основі мінеральних в'язучих, модифікованих комплексною домішкою. – На правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.05 – будівельні матеріали та вироби. – Український державний університет залізничного транспорту МОН України, Харків, 2015.

Дисертація присвячена теоретичним та експериментальним дослідженням фізико-хімічних процесів, механізмів, явищ при структуроутворенні, формуванні властивостей ґрунтоматеріалів з метою підвищення їх міцності, водо- й морозостійкості, експлуатаційної надійності при низькому рівні трудовитрат.

Розвинуто теоретичні уявлення про процеси структуроутворення в суглинистих ґрунтах у присутності цементу або вапна з додаванням суперпластифікатора й меленого шлаку.

Розроблено схеми утворення електрогетерогенних та електрогетерогенних контактів у глинистих ґрунтах, у тому числі укріплених мінеральними в'язучими, що забезпечують підвищення міцності та водостійкості, зниження деформативності та набухання ґрунту.

Виконані лабораторно-експериментальні фізико-механічні та фізико-хімічні дослідження.

Розроблено, пройшло експлуатаційну перевірку й впроваджено комплекс високоєфективних ґрунтомінеральних композитів для влаштування основ автомобільних доріг із закріпленого ґрунту.

За результатами досліджень отримано патент України на корисну модель на склади ґрунтоматеріалів підвищеної міцності, водо- й морозостійкості.

**Ключові слова:** основи автомобільних доріг, ґрунтоматеріал, зв'язні ґрунти, мінеральні в'язучі, міцність, структура, комплексна хімічна домішка, електроповерхневий потенціал.

## АННОТАЦИЯ

**Грано Н.В. «Грунтотериалы на основе минеральных вяжущих, модифицированных комплексной добавкой». – На правах рукописи.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия. – Украинский государственный университет железнодорожного транспорта МОН Украины, Харьков, 2015.

Диссертация посвящена теоретическим и экспериментальным исследованиям физико-химических процессов, механизмов и явлений при структурообразовании, формировании свойств грунтотериалов с целью повышения их прочности, водо- и морозостойкости, эксплуатационной надежности при низком уровне трудозатрат.

Развиты теоретические представления о процессах структурообразования в суглинистых грунтах в присутствии цемента или извести с добавлением суперпластификатора и молотого шлака.

Разработаны схемы образования электрогомогенных и электрогетерогенных контактов в глинистых грунтах, в том числе укрепленных минеральными вяжущими, которые обеспечивают повышение прочности и водостойкости, снижение деформативности и набухания грунта.

Установлено, что введение добавок суперпластификаторов – анионоактивных поверхностно-активных веществ совместно с вяжущими компонентами – способствует пептизации агрегатов грунта и образованию дополнительного количества контактов между отдельными частицами.

Выполнены лабораторно-экспериментальные физико-механические и физико-химические исследования. Экспериментально доказано увеличение прочности при сжатии и морозостойкости образцов грунтотериалов, модифицированных комплексными химическими добавками.

Разработан, прошел эксплуатационную проверку и внедрен комплекс высокоэффективных грунтоминеральных композитов для устройства оснований автомобильных дорог из укрепленного грунта. Производственная проверка результатов исследований показала высокое качество основания из укрепленного известью грунта при условии добавления в грунтоминеральную смесь комплексной химической добавки.

По результатам исследований разработаны и утверждены «Технические указания на строительство опытного участка автомобильной дороги с использованием закрепленного известью грунта с химической добавкой суперпластификатора С-3Р», получен патент Украины на полезную модель на составы грунтотериалов повышенной прочности, водо- и морозостойкости.

**Ключевые слова:** основания автомобильных дорог, грунтотериал, связный грунт, прочность, структура, комплексная химическая добавка, электроповерхностный потенциал.

## SUMMARY

### **N.V. Grano “Soil Materials Based on Mineral Binding Materials, Modified by Complex Admixture”. - Manuscript copyright.**

Dissertation for first level of postgraduate degree in Engineering Sciences, speciality 05.23.05 – building materials and products. – Ukrainian State University of Railway Transport of Ministry of Education of Ukraine, Kharkiv, 2015.

The dissertation is devoted to theoretical and experimental research of physicochemical processes, mechanisms and effects in structure formation, forming of properties of soil materials for the purpose of improvement of their strength, water and frost resistance, operate reliability at low level of working hours.

Theoretical assumptions about the processes of structure formation in loamy soil fortified by cement or lime with presence of superplasticizer of complex action and slag have been developed.

The schemes of formation of electro homogenous and electro heterogeneous contacts in clay soils, including those, strengthened by mineral binding materials, which secure increase of strength and water resistance, decrease of deformation property and soil swelling have been developed.

Laboratory-experimental physicotchnical and physicochemical researches have been made.

There has been developed, gone through maintenance check, and introduced the complex of high-performance soil mineral composites for foundations of motorroads out of strengthened soil.

Based on the results of the research there has been received the patent of Ukraine for the utility model of compositions of soil materials with improved strength, water and frost resistance.

**Key words:** foundations of motorroads, soil material, cohesive soil, strength, structure, complex chemical admixture, electrosuperficial potential.

Підписано до друку 06.10.2015р.  
Формат 60×84 /16. Ум. друк. арк. 1,1. Обл. -вид. арк.0,9. Тираж 100 пр. Зам. № 959.

Видавець і виготовлювач  
Сумський державний університет,  
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК 3062 від 17.12.2007.