

Полтавський державний аграрний університет
Інженерно-технологічний факультет

Затверджую
Завідувач кафедри
будівництва та професійної
освіти

 Сергій ЯХІН
«22» серпня 2025 року

Звіт з роботи

проблемної групи за напрямом наукового дослідження «Дослідження властивостей будівельних матеріалів на основі ґрунтів, укріплених цементом і модифікованих нанодобавками Nanoalps® System» у межах освітньо-професійної програми «Технології будівельних конструкцій, виробів і матеріалів»

Керівник проблемної групи

 Володимир ШУЛЬГІН
«22» серпня 2025 року

Полтава 2025

Зміст	Стор.
1. Вступ.....	3
1.1. Мета та завдання проблемної групи	4
1.2. Актуальність дослідження для будівельної галузі	4
1.3. Очікувані результати	4
2. Організація роботи групи	5
2.1. Склад проблемної групи (керівник, учасники – викладачі, студенти, аспіранти)	5
3. Теоретичні засади дослідження	5
3.1. Сучасні тенденції у використанні ґрунтоцементних матеріалів	5
3.2. Вплив нанодобавок на властивості будівельних матеріалів	5
3.3. Аналітичний огляд наукових публікацій і нормативної бази	5
4. Експериментальні дослідження	6
4.1. Об’єкт та предмет дослідження	7
4.2. Методика відбору зразків і підготовки матеріалів	8
4.3. Підбір складів ґрунтоцементних сумішей з Nanoalps® System	8
4.4. Методи випробувань (міцність, морозостійкість, водостійкість, тощо)	9
	10
5. Висновки та пропозиції	10
6.1. Основні досягнення проблемної групи	10
6.2. Перспективи подальших досліджень	10

Вступ

Сучасний розвиток будівельної галузі потребує пошуку інноваційних рішень, спрямованих на підвищення міцності, довговічності та екологічності будівельних матеріалів. Одним із перспективних напрямів є використання ґрунтів, укріплених цементом, із застосуванням модифікуючих нанодобавок, що дозволяє значно покращити фізико-механічні та експлуатаційні характеристики матеріалів.

Нанотехнології в будівництві відкривають нові можливості для оптимізації складів, зменшення витрат енергоресурсів та збільшення терміну експлуатації конструкцій. Використання нанодобавок **Nanoalps® System** є одним із сучасних рішень, що вже зарекомендувало себе в європейських країнах і має значний потенціал впровадження в Україні.

У межах освітньо-професійної програми «**Технології будівельних конструкцій, виробів і матеріалів**» створено проблемну групу, діяльність якої спрямована на дослідження властивостей ґрунтоцементних матеріалів, модифікованих нанодобавками. Такий науковий пошук дозволяє поєднувати фундаментальні знання з практичними завданнями сучасного будівництва, розширювати можливості студентів і викладачів у науковій роботі, сприяти формуванню компетентностей майбутніх фахівців.

1.1 Мета роботи проблемної групи

Проведення комплексних досліджень властивостей будівельних матеріалів на основі ґрунтів, укріплених цементом та модифікованих нанодобавками **Nanoalps® System**, з метою підвищення їхньої міцності, довговічності, екологічності та ефективності застосування у будівництві, зокрема у транспортній інфраструктурі.

1.2 Завдання проблемної групи

1. Провести аналітичний огляд сучасних наукових джерел та нормативної бази щодо застосування ґрунтоцементних матеріалів і нанодобавок.
2. Розробити методику дослідження складів ґрунтоцементних матеріалів із використанням **Nanoalps® System**.
3. Підібрати оптимальні склади ґрунтоцементних сумішей різного призначення.
4. Виконати лабораторні випробування зразків на міцність, водостійкість, морозостійкість, тріщиностійкість.
5. Дослідити вплив нанодобавок на фізико-механічні та експлуатаційні властивості матеріалів.
6. Провести порівняння отриманих результатів із традиційними будівельними матеріалами.
7. Розробити рекомендації щодо практичного застосування досліджуваних матеріалів у дорожньому та цивільному будівництві.
8. Забезпечити інтеграцію результатів досліджень у навчальний процес за ОПП «Технології будівельних конструкцій, виробів і матеріалів».
9. Сприяти публікаційній активності учасників групи, участі у конференціях, грантових програмах та міжнародній співпраці.

1.3 Актуальність дослідження для будівельної галузі

Сучасне будівництво в Україні потребує застосування матеріалів, що поєднують високу міцність, довговічність та економічну ефективність із екологічною безпекою. Традиційні технології укріплення ґрунтів цементом не завжди забезпечують необхідний рівень експлуатаційних характеристик, особливо в умовах зростаючих навантажень на транспортну інфраструктуру та кліматичних змін.

Використання нанодобавок **Nanoalps® System** у ґрунтоцементних матеріалах дозволяє істотно покращити їх фізико-механічні властивості — підвищити міцність на стиск і розтяг, тріщиностійкість, морозостійкість та водостійкість. Це відкриває можливість створення нових вискоефективних будівельних матеріалів для доріг, аеродромних покриттів, фундаментів та інших конструкцій.

Актуальність дослідження також зумовлена необхідністю раціонального використання місцевих ґрунтів як сировинної бази, що знижує собівартість будівництва, сприяє енерго- та ресурсозбереженню, а також відповідає сучасним вимогам сталого розвитку. Таким чином, результати роботи проблемної групи мають важливе наукове та практичне значення для підвищення

конкурентоспроможності вітчизняної будівельної галузі та інтеграції її у європейський науково-технологічний простір.

1.4 Очікувані результати

1. Розробка та апробація складів ґрунтоцементних матеріалів із використанням нанодобавок **Nanoalps® System**.
2. Отримання експериментальних даних щодо впливу нанодобавок на фізико-механічні, теплотехнічні та експлуатаційні характеристики матеріалів.
3. Встановлення оптимальних параметрів технології виготовлення та укріплення ґрунтів для застосування у транспортному й цивільному будівництві.
4. Порівняння ефективності традиційних і модифікованих матеріалів та обґрунтування їхніх переваг.
5. Формування науково обґрунтованих рекомендацій для впровадження результатів досліджень у практику дорожнього та інженерного будівництва.
6. Підготовка наукових публікацій, участь у конференціях і грантових програмах, поширення результатів у науково-освітньому середовищі.
7. Інтеграція здобутих результатів у навчальний процес за освітньо-професійною програмою «**Технології будівельних конструкцій, виробів і матеріалів**» та розширення можливостей для студентських досліджень.

2. Організація роботи групи

2.1. Склад проблемної групи (керівник-професор Володимир Шульгін, учасники – доцент Олександр Петраш, студенти:

- 1) Бублей Роман Едуардович
- 2) Гаращенко Сергій Анотолійович
- 3) Даценко Ілля Вікторович
- 4) Дронь Василь Сергійович
- 5) Квасневський Юрій Віталійович
- 6) Момот Євгеній Юрійович
- 7) Фролов Ігор Сергійович
- 8) Христенко Юрій Володимирович
- 9) Черкас Андрій Олександрович

3. Теоретичні засади дослідження

3.1 Сучасні тенденції у використанні ґрунтоцементних матеріалів

У світовій будівельній практиці ґрунтоцементні матеріали дедалі частіше застосовуються як ефективний та економічно доцільний спосіб укріплення ґрунтових основ і дорожніх покриттів. Вони дозволяють використовувати місцеві ґрунти, зменшуючи потребу у дорогих привізних матеріалах, що відповідає принципам ресурсозбереження та сталого розвитку.

Серед основних тенденцій розвитку цього напрямку можна виділити:

1. **Розширення сфер застосування** – ґрунтоцемент використовують не лише у дорожньому будівництві, але й при зведенні промислових майданчиків, аеродромних покриттів, укріпленні основ будівель та гідротехнічних споруд.

2. **Впровадження нанотехнологій** – модифікування складів спеціальними нанодобавками (наприклад, Nanoalps® System), що підвищують міцність, морозостійкість і довговічність матеріалів.
3. **Комплексна механізація та автоматизація процесів** – використання сучасних машин для змішування, укладання та ущільнення ґрунтоцементних сумішей.
4. **Орієнтація на екологічність** – зменшення використання традиційних неекологічних матеріалів і зниження вуглецевого сліду завдяки застосуванню місцевих ресурсів.
5. **Нормативне вдосконалення** – поступова адаптація міжнародних стандартів та методик випробувань для забезпечення єдиних вимог до якості ґрунтоцементних матеріалів.
6. **Інтеграція в концепцію "зеленого будівництва"** – використання ґрунтоцементних технологій як частини стратегії сталого розвитку міст та транспортної інфраструктури.

Таким чином, сучасні тенденції спрямовані на підвищення ефективності, довговічності та екологічності ґрунтоцементних матеріалів, що робить їх одним із ключових напрямів розвитку будівельної науки і практики.

3.2 Вплив нанодобавок на властивості будівельних матеріалів

Сучасні дослідження показують, що використання нанодобавок у будівельних матеріалах суттєво змінює їхню мікроструктуру та покращує експлуатаційні характеристики. Наночастинки, завдяки своїм малим розмірам і високій питомій поверхні, активно взаємодіють із мінеральними складовими суміші та продуктами гідратації цементу, сприяючи формуванню більш щільної та однорідної структури. Основні ефекти застосування нанодобавок (зокрема Nanoalps® System) у ґрунтоцементних і бетонних матеріалах:

1. **Підвищення міцності** – завдяки ущільненню структури та інтенсифікації процесів гідратації цементу.
2. **Зменшення водопоглинання** – утворення щільної мікроструктури знижує кількість капілярних пор, що підвищує водостійкість матеріалу.
3. **Підвищення морозостійкості** – зменшення кількості відкритих пор перешкоджає руйнуванню матеріалу під дією циклів заморожування та відтавання.
4. **Покращення тріщиностійкості** – нанодобавки зменшують ризик утворення мікротріщин за рахунок рівномірного розподілу напружень.
5. **Прискорення твердіння** – наночастинки можуть виступати центрами кристалізації, скорочуючи терміни набору міцності.
6. **Підвищення довговічності** – матеріали з нанодобавками мають більшу стійкість до агресивних середовищ, корозії та ерозії.
7. **Економічний ефект** – можливість зниження витрати цементу при збереженні або покращенні експлуатаційних властивостей.

Таким чином, нанодобавки є ефективним інструментом модифікації будівельних матеріалів, що дозволяє створювати більш надійні та довговічні конструкції з урахуванням сучасних вимог до якості та екологічності.

3.4 Аналітичний огляд наукових публікацій і нормативної бази

1) Нормативна база (дороги, ґрунтоцемент, методи випробувань)

- **Європейські специфікації для ґрунтів, укріплених цементом (НВМ):** EN 14227-10 регламентує вимоги до сумішей типу *soil treated by cement* (складники, класифікація, лабораторні показники) для шарів дорожнього одягу та аеродромів. Корисно як рамковий документ для підбору складів і критеріїв відповідності. [Itech Standards](#)[iTech Standards](#)[BSI Knowledge](#)
- **Методи випробувань НВМ (щільність, вологість, міцність):** Серія EN 13286 задає процедури виготовлення зразків та випробувань: Proctor-ущільнення (EN 13286-2), довідкова щільність/вологість (EN 13286-1), виготовлення зразків (EN 13286-50), визначення міцності на стиск (EN 13286-41). Для лабораторної програми ці стандарти визначають апаратуру, підготовку проб і розрахунок результатів. [Itech Standards](#)[+1BSI Knowledge](#)[Antpedia](#)
- **Зв'язок із українськими нормами:** У вітчизняних оглядах та адаптаціях згадуються стандарти сімейства EN (зокрема **DSTU B EN 197-1:2015** щодо цементів) та підходи до НВМ/СВМ (сумішей, укріплених гідравлічними в'язучими) для шарів дорожнього одягу; оглядова робота систематизує вимоги до матеріалів і процесів улаштування. Це підтверджує доцільність узгодження наших методик з EN 14227 та EN 13286. [OUCIДороги Мости](#)
- **Практичні настанови:** Профільні керівництва (Britpave, Soil-Cement Laboratory Handbook) дають прикладні рекомендації щодо вибору в'язучих, технології приготування та очікуваних експлуатаційних властивостей, що корисно для секції впровадження. [BritpaveSoutheast Cement Promotion Association](#)

2) Наукові публікації про наномодифікацію ґрунтоцементів

- **Оглядів та експериментальні роботи 2023–2025 рр.:** Доведено, що нанодобавки (переважно **nano-SiO₂**, **nano-CaCO₃**, полімерні наномодифікатори) підвищують міцність на стиск/розтяг, зменшують водопоглинання, прискорюють твердіння завдяки ролі центрів кристалізації та ущільненню мікроструктури. Актуальна публікація 2025 р. (open-access) демонструє механізми покращення для цементних стабілізаторів із nano-SiO₂ та nano-CaCO₃. [РМС](#)
- **Стабілізація ґрунтів із нанодобавками (геотехнічний аспект):** Дослідження у *Scientific Reports* (2023) та інші праці показують зростання UCS, поліпшення зсувної міцності та довговічності при малих дозуваннях нанодобавок; підкреслюється залежність ефекту від гранулометрії, мінералогії ґрунту й типу в'язучого. [NatureScienceDirectResearchGate](#)
- **Останні тематичні статті (2025):** Нові дослідження застосовують комбінації нано-кремнезему та нанополімерів для слабких основ (органічні ґрунти/торфи), демонструючи підвищення міцності та зменшення деформацій. Це формує базу для порівняння з нашими сумішами на базі Nanoalps® System. [Tandfonline](#)[+1](#)

3) Узагальнення й прогалини знань

- **Що добре усталено:** класифікація і вимоги до ґрунтоцементних сумішей (EN 14227-10), методики виготовлення та випробувань (EN 13286-1/-2/-41/-50), а також загальні механізми впливу нанодобавок на цементовані системи. Це дозволяє вибудувати відтворювану лабораторну програму й систему критеріїв якості. [Iteh Standards+2Iteh Standards+2](#)
- **Що потребує дослідження:** оптимальні дозування конкретних нанодобавок для локальних ґрунтів, сумісність із різними цементами/дорожніми в'язучими, довгострокова морозо- та водостійкість, стійкість до солей/дефростантів, а також масштабування результатів з лабораторії до польових шарів (включно з контролем ущільнення та витримування). Оглядові джерела 2023–2025 рр. прямо вказують на ці прогалини. [PMCNature](#)

4) Рекомендації для нашої програми робіт

1. **Нормативна рамка:** проектувати склади та протоколи випробувань у відповідності з EN 14227-10 (вимоги/класифікації) і EN 13286 (Proctor, виготовлення зразків, UCS). Це спростить подальшу валідацію та трансфер у практику. [Iteh Standards+2Iteh Standards+2](#)
2. **Маркерні показники:** прийняти UCS (EN 13286-41), водостійкість/щільність, морозостійкість як основні KPI; фіксувати енергію ущільнення за EN 13286-2/-50. [Iteh StandardsBSI KnowledgeAntpedia](#)
3. **Нанодобавки:** стартові діапазони дозувань і план факторного експерименту спиратися на сучасні публікації 2023–2025 рр., з обов'язковою мікроструктурною верифікацією (SEM/EDS, порометрія) для пояснення механізмів. [PMCSscienceDirect](#)
4. **Трансфер у практику:** зіставляти результати з галузевими керівництвами (Britpave, Soil-Cement Handbook) для підготовки рекомендацій із виробництва та контролю якості на об'єктах. [BritpaveSoutheast Cement Promotion Association](#)

4 Експериментальні дослідження

4.1 Об'єкт дослідження

Будівельні матеріали на основі ґрунтів, укріплених цементом і модифікованих нанодобавками **Nanoalps® System**, що застосовуються у дорожньому та цивільному будівництві.

4.2 Предмет дослідження

Фізико-механічні, структурні та експлуатаційні властивості ґрунтоцементних матеріалів із наномодифікаторами, а також закономірності впливу нанодобавок на процеси формування структури, міцності, водостійкості та довговічності таких матеріалів.

Методи випробувань (міцність, морозостійкість, водостійкість, теплотехнічні характеристики тощо)

4.3 Розрахунок складу ґрунтоцементу

5.1 Знайти оптимальні значення:

- **W/Ц** — водоцементне співвідношення

- Розрахунок складу ґрунтоцементу виконаний в програмі Ексель і наведений в таблиці 1

Магістри Квасневський Юрій, Бублей Роман та Фролов Ігор у межах виконання наукового дослідження з використанням методів математичного експерименту здійснили:

- Результати випробувань матеріалів і точні склади сумішей є конфіденційною інформацією університету і в цьому звіті не наводяться. Наведено лише методику їх визначення

Крім того, за підсумками роботи магістри підготували тези для участі у науковій конференції університету (листопад 2025 року), де вони представлять результати власних досліджень.

5.1. Основні досягнення проблемної групи

1. **Розроблено та апробовано склади ґрунтоцементних матеріалів** з використанням нанодобавок **Nanoalps® System**, що підвищують міцність, морозостійкість і довговічність матеріалів.
2. **Проведено комплексні лабораторні дослідження** фізико-механічних та експлуатаційних властивостей матеріалів (міцність на стиск і розтяг, водостійкість, тріщиностійкість).
3. **Встановлено закономірності впливу нанодобавок** на структуру та властивості ґрунтоцементних сумішей різних марок і призначення.
4. **Розроблено науково обґрунтовані рекомендації** щодо застосування модифікованих ґрунтоцементних матеріалів у дорожньому та цивільному будівництві.
5. **Інтегровано результати досліджень у навчальний процес** за ОПП «Технології будівельних конструкцій, виробів і матеріалів», що забезпечило залучення студентів до наукової роботи та практичних експериментів.
6. **Підвищено публікаційну активність учасників групи:** опубліковано статті, взято участь у наукових конференціях, підготовлено матеріали для грантових програм.
7. **Налагоджено співпрацю з промисловими підприємствами та лабораторіями** для практичного тестування матеріалів і подальшого впровадження технології:
 1. ПП «Полтава-СКІ», м. Полтава – у сфері дорожнього будівництва та впровадження інноваційних матеріалів;
 2. ТЗОВ «Балтом Україна», м. Львів – у сфері сучасних технологій будівництва та експлуатації об'єктів;
 3. ПП «ЄВРОІМЕКС-ІНВЕСТ», м. Ужгород

5.2. Перспективи подальших досліджень
Оптимізація складів ґрунтоцементних матеріалів із нанодобавками для різних типів ґрунтів і кліматичних умов з метою підвищення ефективності та економічності технології.

1. **Дослідження довгострокової експлуатаційної стабільності** матеріалів, включаючи вплив циклів заморожування та відтавання, корозійних і агресивних середовищ.
2. **Вивчення механізмів взаємодії наночастинок із цементною матрицею** на мікро- і нанорівнях для точного прогнозування властивостей матеріалу.
3. **Масштабування лабораторних результатів на польові умови** та розробка методик контролю якості матеріалів на об'єктах будівництва.
4. **Розширення спектра нанодобавок та комбінованих систем модифікації**, включаючи полімерні та органо-мінеральні сполуки, для підвищення тріщиностійкості, водонепроникності та термостійкості.
5. **Інтеграція результатів у систему навчання та практики студентів**, включаючи розробку лабораторних і практичних занять із використанням нових технологій.