

УДК 624.154

**Жеребят'єв О.В.**, канд. техн. наук, **Фурсович М.О.**, канд. техн. наук,  
**Супрунюк В.В.**, канд. техн. наук

## **ГЕОТЕХНІЧНИЙ КОНТРОЛЬ МАСИВНИХ ҐРУНТОВИХ НАСИПІВ**

**Анотація.** У статті розглянуто історію виникнення геотехнічного контролю і його теоретичну і практичну сутність.

**Ключові слова:** геотехнічний контроль, характеристики ґрунтів, надійність.

**Аннотация.** В статье рассмотрена история возникновения геотехнического контроля и его теоретическую и практическую сущность.

**Ключевые слова:** геотехнический контроль, характеристики ґрунтов, надёжность.

**Анотація.** The article reviews the history of the geotechnical monitoring and its theoretical and practical nature.

**Keywords:** geotechnical control, soil characteristics , reliability.

Необхідність рішення задач, пов'язаних з визначенням надійних розрахункових показників для перевірки несучої здатності та визначення деформацій ґрунтових споруд та їх основ диктується потребами інженерної практики. В зв'язку з ускладненням умов будівництва, освоєнням більш складних територій, що раніше вважалися непридатними для будівництва, збільшенням висоти споруд тощо, вимоги до методів реальної оцінки розрахункових характеристик ґрунтів підвищуються. Традиційні методи визначення розрахункових показників в значній мірі вичерпали свої можливості. В той же час використання більш досконалих підходів до визначення розрахункових характеристик зустрічається з певними труднощами.

В певній мірі ці труднощі пов'язані з тим, що немає достатньої кількості публікацій і чітких інструкцій по багатофакторній імовірнісній оцінці розрахункових характеристик ґрунтів, що були б добре зрозумілими широкому колу інженерів-проектантів і будівельників.

В даній статті викладені результати більш як тридцятирічних досліджень при зведенні ґрунтових споруд Дністровської ГЕС-1, ГЕС-2, та Дністровської ГАЕС. Особливість оцінок полягає в тому, що дані геотехконтролю на названих

об'єктах знайшли порівняння і аналіз після вище вказаного терміну від початку експлуатації більшої частини цих споруд. Велика увага приділяється багатофакторній імовірнісній оцінці характеристик, а також натурних досліджень ґрунтів у польових умовах, яким віддається перевага при оцінці надійності роботи споруди.

Проаналізовані також роботи у галузі геотехнічного контролю на великих ґрунтових гідротехнічних спорудах України (Київської ГЕС і ГАЕС, Кременчуцької ГЕС тощо).

Здебільшого в практиці проектування багатьох об'єктів, призначення параметрів характеристик ґрунтів здійснюється в значній мірі на основі аналогів – вже побудованих в аналогічних умовах споруд та за недостатньо конкретними вимогами діючих норм [1]. Без заперечення такого підходу, зроблена спроба розглянути цю задачу з точки зору кількісної оцінки ризиків, пов'язаних з роботою конструкції греблі і впливу геотехнічного контролю на цей процес.

Згідно з чинними нормами геотехнічний контроль якості основ і ґрунтових споруд проводиться для:

- перевірки забезпечення значень фізико - механічних характеристик ґрунтів, прийнятих у розрахунках при проектуванні цих споруд, з урахуванням конструкції і технології їх зведення;
- накопичення і аналізу даних про фізико-механічні характеристики ґрунтів з метою виявлення закономірностей їх змін, що виникають в процесі укладання, а також, у випадку внесення коригування в технічні умови (ТУ) на зведення земляних споруд і основ;
- оцінки і коригування прийнятої технології зведення споруд із ґрунтових матеріалів;
- оцінки фізико-механічних характеристик ґрунтів в період їх укладання в тіло споруди, та їх зміни при введенні споруд в експлуатацію і в період їх експлуатації.

Забезпечення в процесі зведення ґрунтових споруд проектних фізико – механічних характеристик ґрунтів переважно визначає надійність і довговічність роботи споруди. Такі оцінки надійності виконуються як в рамках методологій граничних станів, покладених в даний час в основу розрахунків, так і при ймовірнісних оцінках методів розв'язання задач.

Отже, видно, що геотехнічний контроль не є чисто механічною

операцією, подібною до звичайного виробничого контролю, який зводиться до простого порівняння будівельної продукції з деяким еталоном. Геотехнічний контроль – це **багатофакторний розгалужений процес**, який має всебічні зв'язки впливу як на технологію так і на конструкцію споруди і властивості матеріалів (рис.1).

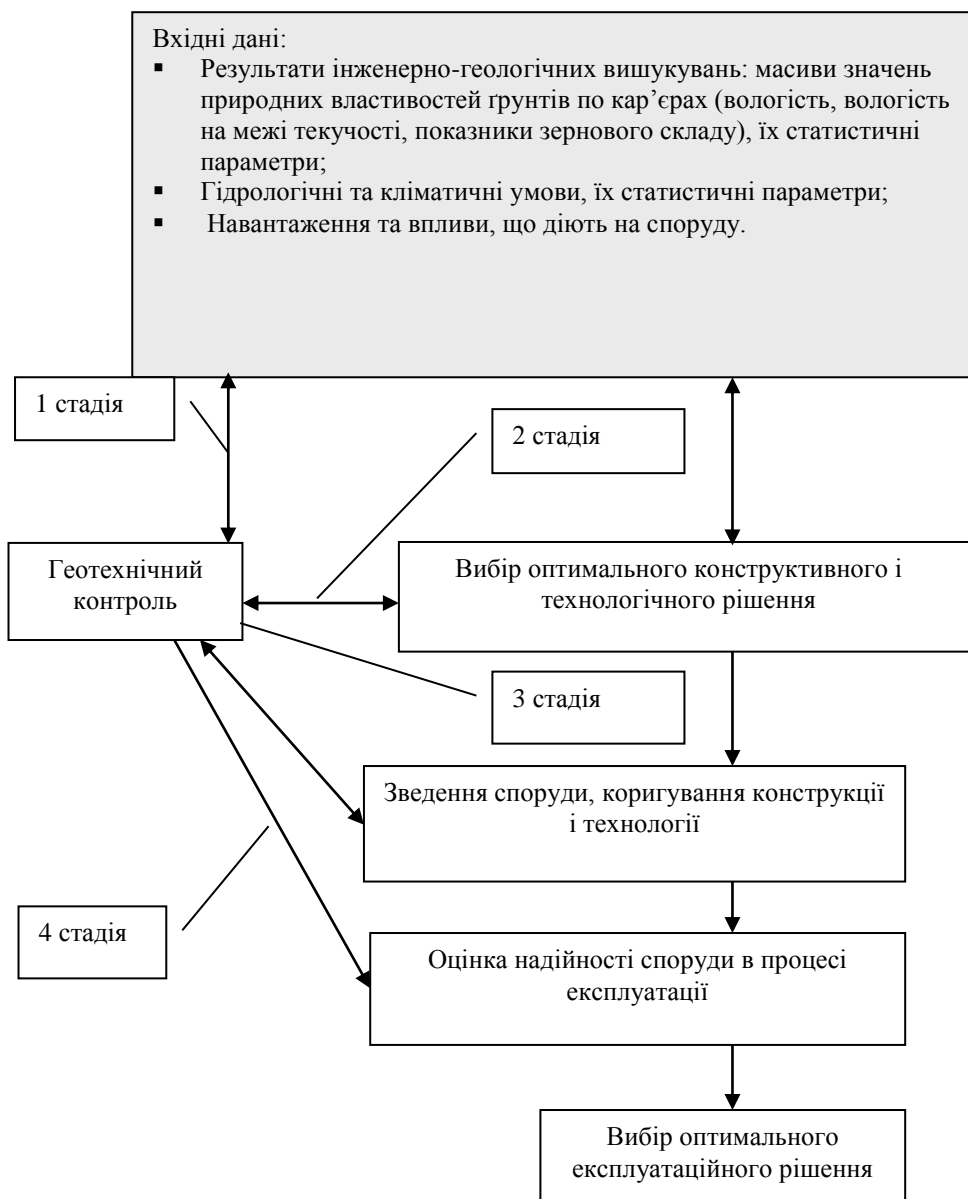
Узагальнено можна сформулювати наступне визначення: **геотехнічний контроль** – це тривалі дослідження ґрунтів, призначених для укладання в споруду в природному стані в процесі відкривання і розробки кар'єрів, аналіз можливих змін їх властивостей в масиві споруди (або в основі), коригування технології розробки ґрунтів в кар'єрах і ущільнення їх в споруді, аналіз характеристик ґрунтів в завершеній споруді та аналіз надійності споруди. Причому на різних етапах проведення цих робіт виникають якісно різні задачі. Наявність зворотних зв'язків у схемі геотехнічного контролю вказує на необхідність наукової оцінки при виборі конструкції споруди, технології її зведення і забезпечення надійності. Тобто можна стверджувати, що причиною наукового аналізу є необхідність оптимізації надійності гідротехнічної споруди і одночасне усунення внутрішніх протиріч які виникають в проекті без урахування цих зв'язків.

Такий підхід до геотехнічного контролю зумовлений в першу чергу унікальністю кожної великою гідротехнічної споруди, відповідальністю і значними негативними наслідками аварій на важливих гідротехнічних спорудах. Крім того, необхідність зворотних зв'язків при проектуванні і будівництві ґрунтових споруд полягає у поступовому коригуванні проекту ґрунтової споруди відносно початкової технології і конструкції оскільки на початок будівництва не завжди відомі всі неоднорідності кар'єрних ґрунтів, геологічні та гідрологічні особливості їх залягання.

Вперше польові геотехнічні контрольні дослідження були застосовані на Шведських державних дорогах. В 1926р К.Терцаги [2] застосував цей метод на будівництві греблі водосховища Гренвіл-Дем, де питання про протифільтраційні заходи можна було вирішити лише після заповнення водосховища і проведення спостережень за втратами води.

В колишньому СРСР цей метод був широко застосований при будівництві гідротехнічних споруд на р.Свір. На цьому будівництві М.М.Маслов вперше організував службу геотехнічного контролю і лабораторію з механіки ґрунтів, що дозволило провести ряд досліджень, в тому числі із

штучного регулювання осідання споруди. М.Н. Гольдштейном було накопичено значний досвід роботи лабораторій і станцій геотехнічного контролю на багатьох великих об'єктах. В результаті цих досліджень [3] було переконливо підтверджено, що для правильного вирішення більшості практичних задач в галузі геотехніки важливим є поступове уточнення інженерно – геологічних даних, яке здійснюється в процесі розробки котлованів, уточнення характеристик ґрунтів і проведення необхідних натурних і лабораторних досліджень. Одночасно з цими дослідженнями проводилися визначення напружень і деформацій в основах і ґрунтових спорудах.



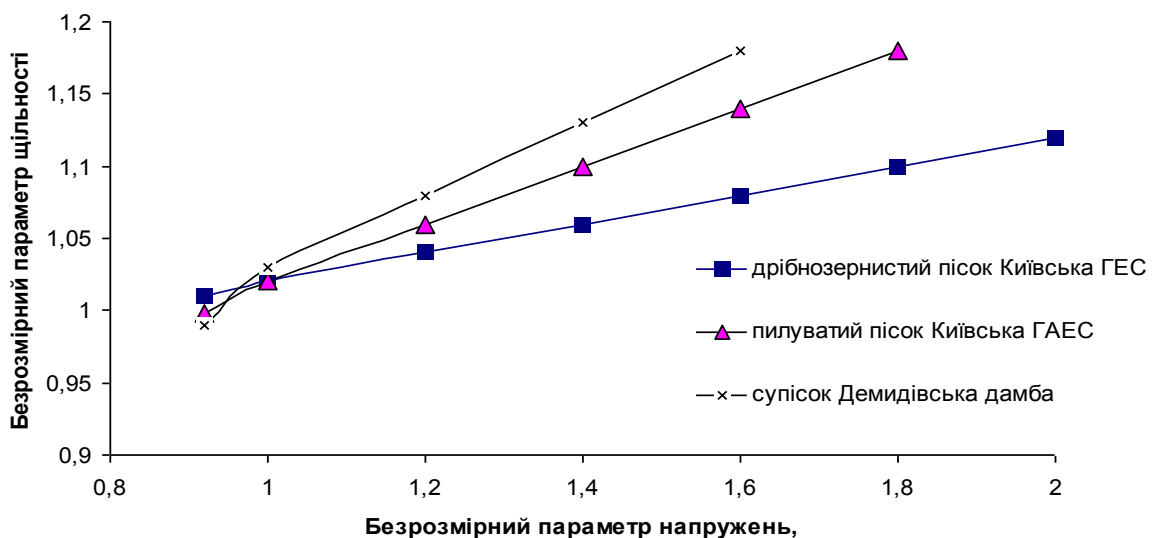
**Рисунок 1** – Структурно-логічна схема використання геотехнічного контролю і його результатів для оцінки конструкції, технології і експлуатації ґрунтових споруд

Всі ці дослідження дозволяли своєчасно вносити в проект необхідні зміни, які гарантували міцність та стійкість споруд.

В Україні досвід проведення такого геотехнічного контролю мав місце при спорудженні гідроелектростанцій Дніпровського каскаду: Каховської, Кременчуцької, Київської ГЕС і Київської ГАЕС, ґрунтових споруд каналу Сіверський Донець – Донбас, Дніпро - Донбас тощо. Серед робіт, в яких розглянуто особливості геотехнічного контролю на тих чи інших спорудах і питань, з ним пов'язаних, слід відзначити роботи М.П.Павчича, А.М.Рижова, В.П.Віхарєва, І.С.Міца, М.М.Маслова, М.Н.Гольдштейна, А.Х.Теплицького, О.Л.Філахтова, та інших. Велика увага питанням геотехнічного контролю приділялася в енергетичному, транспортному та водогосподарському будівництві [4] ДПТ, «Атоменергобудпроект», УкрГІНІТИЗ, Укрдіпроводбуд, НДІБК, НУВГП.

Значний внесок в розвиток геотехнічного контролю зробив А.М.Рижов. Він вперше запропонував залежності між безрозмірними показниками напружень і щільності в критичному стані для дрібнозернистих пісків Київської ГЕС, пилюватих пісків Київської ГАЕС, супісків Демидівської дамби [4].

Знайдені ним параметри критичної щільності відіграють ключову роль в якості інваріантів в теорії фізичного моделювання при оцінці адекватних значень механічних властивостей ґрунтів. Зв'язок між ними встановлений експериментально (рис. 2).



**Рисунк 2** – Залежності між безрозмірними параметрами напружень  $N_\sigma$  та параметрами щільності  $N_\gamma$

За допомогою безрозмірних критеріїв механічного стану можна проектувати рівномічні або рівно деформаційні земляні споруди, фіксуючи при розробці проектів певний рівень деформацій об'єму або міцності.

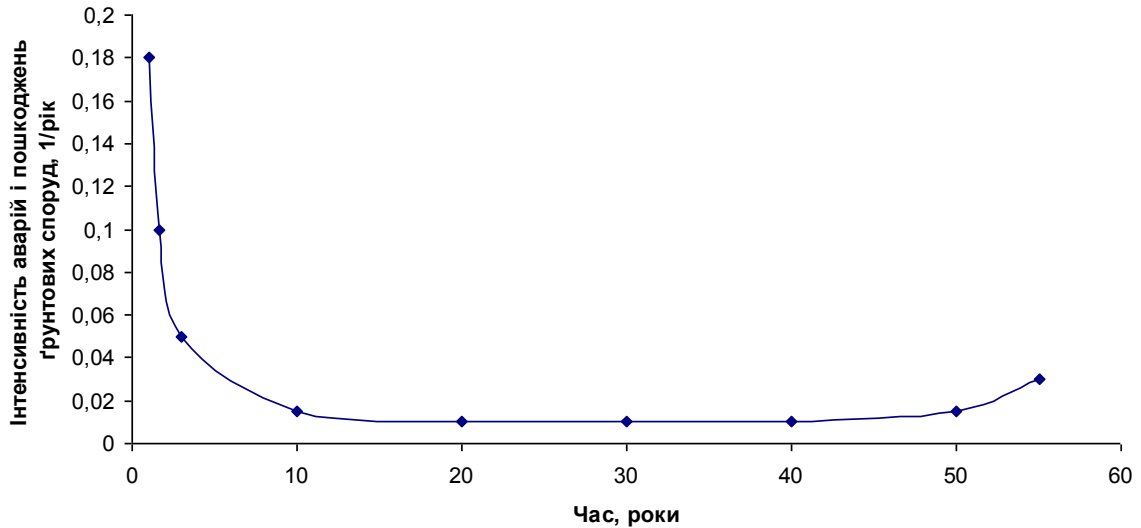
В Україні протягом ХХ століття трапилося дві великі аварії на ґрунтових греблях. Перша – це сумнозвісна Куренівська трагедія, де загинуло за неофіційними джерелами близько 1,5 тис людей (реальні дані розслідувань були знищені владою). Друга аварія сталася на греблі Стебницького гірничо – хімічного підприємства «Полімінерал», де в результаті зсуву на низовому укосі і переливу рідини було зруйновано ґрунтову греблю висотою 22м. Тоді 4,5млн. м<sup>3</sup> калійних відходів потрапили в р.Дністер забруднивши її на ділянці довжиною до 250км. Можна з впевненістю стверджувати, що відсутність належного геотехнічного контролю була однією з основних причин руйнації споруд як в першому так і в другому випадках.

На графіку (рис. 3) показана залежність інтенсивності аварій і пошкоджень від часу, що визначається за виразом:

$$\lambda = \frac{n}{N \cdot \Delta T} \quad (1)$$

де  $n$  - кількість аварій за період часу  $\Delta T$ ;  $N$  - середня кількість гребель, що справно працювали за період часу  $\Delta T$ . Графік результатів статистичного аналізу кількості аварій і пошкоджень вказує на важливість впливу геотехнічного контролю на надійність ґрунтових гребель впродовж їх будівництва і експлуатації. Особливість великих ґрунтових гребель полягає в тому, що введення їх в експлуатацію відбувається поступово, (з добудовою споруд), тобто в період, коли інтенсивно проводиться геотехнічний контроль і коли його роль дуже висока.

В основу геотехнічного контролю за зведенням ґрунтових споруд Дністровської ГЕС-1, ГЕС-2, та Дністровської ГАЕС було покладено метод математичного планування експерименту (МПЕ), сутність якого полягає в отриманні поліноміальних емпіричних залежностей між фізичними характеристиками ґрунтів (вологість на межі текучості, максимальна вологоємність, показники зернового складу  $X_i$ ), факторами напруженого стану і механічними властивостями, що забезпечують надійність споруд (модуль деформації, опір зсуву, коефіцієнт фільтрації  $Y_i$ )  $Y = f(X_i)$ .



**Рисунок 3** – Графік залежності інтенсивності аварій і пошкоджень ґрунтових гребель від терміну їх експлуатації

Наявність цих рівнянь дозволяє з одного боку суттєво уточнити нормативні і розрахункові показники ґрунту в споруді, а з іншого боку проводити «гнучкий» геотехнічний контроль за змінним параметром, який найбільш впливає на надійність споруди.

Нормативне значення характеристики, що розраховується за поліноміальними моделями, визначалося за формулою

$$Y_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{Y}_i, \quad (2)$$

де  $\hat{Y}_i$  - значення характеристики, яке знайдене за залежністю (частіше всього поліноміальним рівнянням) зв'язку між параметрами, що встановлюються під час геотехнічного контролю;  $n$  - кількість дослідних точок.

Ефективність проектування із застосуванням цих залежностей збільшується за рахунок:

- кількісної ув'язки природних властивостей ґрунтів, значень щільності після ущільнення з водопроникністю, опором зсуву і можливістю їх регулювання;
- значно більшим “представництвом” в розрахункових характеристиках даних вишукувань;

- збільшення точності визначення розрахункових характеристик при оптимальних витратах ресурсів;
- можливістю гнучкого коригування технології зведення споруди.

Ці зміни застосувались вже на першій стадії вивчення ґрунтів і зведення споруд Дністровського гідровузла. Протягом проведення геотехнічного контролю вносилися зміни в проектну документацію – тимчасові технічні умови (ТТУ) вносились регулярно за рекомендаціями НУВГП. Всього при будівництві Дністровської ГЕС-1 вийшло п'ять редакцій ТТУ.

Таким чином, на цих прикладах можна констатувати, що геотехнічний контроль дає змогу поступово наближати процес моделювання характеристик ґрунту і його роботи в конструкції до натурної споруди і поступово відкидати не суттєві фактори. Моделі створені без поступового наближення до реальності і врахування масштабних ефектів щільності і навантажень призводять до значних похибок при розрахунках деформацій і напружень в спорудах, виникненню тріщин і зон граничного стану. Це іще раз підтверджує тезу про те що ефективний розвиток механіки ґрунтів можливий на дослідному та теоретичному рівні **при поступовому коригуванні** отриманих суттєвих моделей з натурними даними.

Досвід будівництва великих енергетичних об'єктів показує, що при значному будівництві і складних геологічних умовах неможливо в звичайні терміни, відведені для вишукувань і проектування, зробити докладні інженерно-геологічні дослідження ґрунтів і точно передбачити майбутні опади й умови порушення стійкості споруди. Однієї з причин цього є неоднорідність ґрунтових товщ і кар'єрних матеріалів, що мають змінні значення механічних властивостей.

Геотехнічні дослідження (геотехнічний контроль), що починаються разом з будівельними роботами, коли відбувається розкриття кар'єрів і котлованів включають проведення безпосередньо на площадці безперервні контрольні вишукування й іспити ґрунтів, спостереження за деформаціями, дозволяють коректувати первісні вихідні дані проекту. Для їхнього проведення на будівництвах організуються постійно діючі геотехнічні лабораторії, що безупинно ведуть спостереження за властивостями ґрунтів, що розкриваються, поводженням дамб, що відсипаються, і гребель і деформаціями споруджень.

Лабораторія НУВГП систематично вела такого роду контрольні



дослідження на Дністровському гідровузлі та Дністровській ГАЕС і вони дали цікаві матеріали по ряду питань геотехніки. Досвід цих робіт показав, що будівельні геотехнічні дослідження дозволяють не тільки істотно підвищити надійність спорудження, але й оптимізувати його за рахунок застосування більш економічних методів будівництва, більшої вивченості кар'єрних матеріалів. Проведення аналогічних робіт на інших об'єктах є цілком виправданим.

### **Література**

1. Руководство по геотехническому контролю за подготовкой оснований и возведением грунтовых сооружений в энергетическом строительстве РД 34 15.073-91 ВНИИГ. – Ленинград, 1991. – 436 с.
2. Терцаги К. Строительная механика грунта на основе его физических свойств. – М.: Госстройиздат, 1933. – 421 с.
3. Гольдштейн М.Н. Механические свойства грунтов. (Основные компоненты грунта и их взаимодействие). – М., 1973. – 367 с.
4. Рыжов А.М. Введение в нелинейную механику грунтов и физическое моделирование оснований. – Запорожье: РИП «Видавець», 1995. – 447 с.

#### **Рецензенти:**

Кузло М.Т., д-р техн. наук, Національний університет водного господарства та природокористування.

Усиченко О.Ю., канд. техн. наук, Національний транспортний університет.

#### **Reviewers:**

Kuzlo M.T., Dr. Tech. Sci., National University of Water and Environmental Engineering.

Usychenko O.Yu., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), National Transport University.

Стаття надійшла до редакції: **05.07.2016 р.**