Міністерство освіти і науки України

Державний вищий навчальний заклад

«Національний гірничий університет»

**Геоенергетика, фізико-хімія та гідрогеомеханіка техногенезу льосових масивів як основа інженерної протидії їхній деградації**

1. Деревягіна Наталія Іванівна, кандидат технічних наук, асистент кафедри гідрогеології та інженерної геології Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет».

2. Перкова Тетяна Іванівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри гідрогеології та інженерної геології Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет».

3. Причина Катерина Сергіївна, кандидат технічних наук, асистент кафедри будівництва, геотехніки і геомеханіки Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет».

4. Шепель Ніна Миколаївна, кандидат технічних наук, науковий співробітник кафедри будівництва, геотехніки і геомеханіки Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет».

Робота подається вперше.

**Реферат**

**Дніпро – 2017**

**Актуальність роботи**

Середрізноманіття геологічних утворень своїми специфічними інженерно-геологічними властивостями виділяються льосові ґрунти. Їх особливості характеризуються малою природною вологістю, низькою водостійкістю, високою пористістю, просадністю та безпосередньо пов'язані з процесами зсувоутворення. Слід відзначити унікальні геоенергетичні особливості льосів, що обумовлено їхнім геологічним генезисом. Актуальність інженерної протидії зсувам має важливе значення у зв'язку з розповсюдженням льосових масивів на території України до 60%. При масовому будівництві у містах виникає необхідність в освоєнні несприятливих територій, зокрема зсувонебезпечних схилів. На вже забудованих ділянках виникають проблеми втрати стійкості льосових масивів внаслідок численних витоків з водогінних комунікацій, недостатнього дренажу (або його відсутності), підрізки схилів, а головне – підтоплення. Дніпропетровська область посідає одне з перших місць в Україні за кількістю зсувонебезпечних територій. На сьогоднішній день їх площа становить понад 145 км2.

Діючі нормативи, які застосовуються для проектування й будівництва на льосових ґрунтах, не враховують повною мірою їх специфіку. Результати досліджень, покладені в основу нормативів, були отримані в середині ХХ століття. Науково обґрунтованих підходів, які б враховували повною мірою геоенергетичні, геомеханічні і геохімічні фактори формування гідрогеомеханічної стійкості льосових масивів, дотепер не розроблено.

Вкрай недостатньо вивчені також фізико-механічні властивості льосових ґрунтів при вібродинамічних впливах. Зокрема, відомі результати досліджень дії динамічних навантажень на характеристики міцності ґрунтів є суперечливими. Зміна гідрогеологічних умов і збільшення статичних і динамічних навантажень на льосову основу можуть призвести до неприпустимих деформацій основ інженерних споруд, а при тривалій дії – до аварійних ситуацій. В ситуації, що склалась неможливо якісно оцінити небезпеку виникнення незатухаючих деформацій в разі впливу тривалих вібраційних навантажень на льосові основи.

Поза межами міст льосові масиви використовуються для спорудження водойм – водосховищ, водовідстійників, шламосховищ. Існуючі гідротехнічні споруди та ті, що проектуються згідно нормативів, як показує досвід, не забезпечують достатню ізоляцію від фільтраційних втрат мінералізованих вод. Методики розрахунку параметрів протифільтраційних споруд, що застосовуються, не враховують сукупний вплив гідродинамічних та фізико-хімічних чинників, що змінюють геомеханічні властивості льосових порід в основах споруд і не дають можливості з достатньою точністю оцінити фільтраційні ореоли.

Складність і багатофакторність фільтраційного переносу та масообміну

мінералізованих вод з грунтами обумовлює необхідність розробки методик прогнозування гідродинамічних і фізико-хімічних процесів та їхнього моніторингу, що є суттєвою складовою до вже визначених аспектів з актуальності роботи.

Отже, **метою роботи** є дослідження механізму дії геоенергетичних, фізико-хімічних та гідрогеомеханічних складових у техногенній деградації льосових масивів з обґрунтуванням геотехнічної протидії цим процесам.

Завдання роботи і її виконання склали чотири великих блоки:

1. Обґрунтування параметрів гідрогеомеханічної стійкості льосових масивів з урахуванням їх генезису і енергетичних характеристик та розробка заходів попередження зсувів-течій.

2. Суттєве удосконалення методів розрахунку стійкості льосових схилів в умовах міської забудови при змінному рівні підземних вод, що дозволяє точно прогнозувати зсуви і розраховувати параметри захисних споруд.

3. Дослідження закономірностей фізико-хімічних і геомеханічних змін масиву льосових порід в основах відстійників мінералізованих вод і розробка параметрів засобів попередження руйнування основ.

4. Дослідження закономірностей деформування геотехнічної системи «споруда-льосовий масив» в зоні дії динамічних навантажень та обґрунтування параметрів засобів інженерного захисту споруд.

**Методи дослідження.**

 В наукових обґрунтуваннях авторами використані фундаментальні положення статики і динаміки суцільного середовища, механіки твердого тіла, динаміки складних систем, фільтрації, геоміграції, термодинаміки. Експериментальні дослідження проведені на сучасному обладнанні, а також оригінальних вдосконалених приладах. Використані сучасні програмні комплекси комп’ютерного моделювання і розрахунків (FLAC 2D, Modflow, Surfer, ЭСПРИ, SCAD Office, Phase2).

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами**

Робота виконана на кафедрах гідрогеології та інженерної геології; будівництва, геотехніки і геомеханіки Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» відповідно до плану найважливіших держбюджетних робіт Міністерства освіти і науки України: ГП–443 (№ держреєстрації 0111U002813), ГП–463 (№ держреєстрації 0113U000407), ГП–459 (№ держреєстрації 0113U000403), ГП–475 (№ держреєстрації 0111U002813), Ш-492 (№ держреєстрації 0110U000866), ГП-476 (№ держреєстрації 0115U002297), господарчих договорів з підприємствами (№№ 040823-040828, 040830-040833). Автори роботи, що представляється, були виконавцями цих тем.

**Наукова новизна отриманих результатів.**

* Встановлено, що недосконалість методичних підходів прогнозування геомеханічного стану льосових масивів в умовах техногенного навантаження та недостатня ефективність використання на практиці класичних підходів до прийняття технічних рішень є наслідком неповних уявлень про гідрогеомеханічні зміни у ґрунті.
* Експериментально досліджені закономірності ослаблення структурної стійкості льосових порід. Вперше встановлено, що анізотропія льосового масиву набуває інверсії внаслідок техногенного впливу фільтраційних і деформаційних процесів у присхилових областях при девіаторі напружень 150...200 кПа, що призводить до активізації процесів глибинної ерозії в льосових породах і зумовлює зсуви течії, при цьому значення коефіцієнта фільтрації в горизонтальному і вертикальному напрямках відрізняються до 9 разів.
* Отримані середні значення маси виносу часток, а також їх гранулометричний склад для Придніпровського льосового суглинку з виділенням прогнозної зони переходу суфозії в першу стадію розмиву і глибинної ерозії з інтервалом девіатора напружень 150...200 кПа та гідравлічним градієнтом 20 кПа.
* Обґрунтована математична модель фільтраційних процесів техногенно навантаженого льосового масиву площі ж/м “Тополя” (м. Дніпро) за скінченнорізницевою схемою. Рішення варіантного ряду нестаціонарних обернених задач дозволили сформувати повну ретроспективну картину динаміки рівневого режиму підземних вод і встановити, що техногенна інфільтрація майже втричі перевищує природну та є основним фактором зсувонебезпечності.
* Отримані нові рішення задачі стійкості укосів і схилів основними відмінностями яких є:

- інтерпретація коефіцієнта стійкості як найменшого значення з мінімумів 4-х функціоналів, що визначаються як відношення сум утримуючих сил до зсуваючих, відношення проекцій цих сил на координатні вісі і відношення утримуючого моменту до перекидаючого;

- використання для опису лінії ковзання універсальної степеневої функції;

- використання коригуючих множників, які чисельно дорівнюють відношенню коефіцієнтів стійкості, встановлених із використанням еталонного методу, до їх значень, за гіпотезою про ламану і степеневу поверхні ковзання;

- використання при визначенні коефіцієнта стійкості всього діапазону розрахункових характеристик властивостей грунту.

* Доведено, що залежність коефіцієнта стійкості схилу від рівня залягання підземних вод при його зміні від природного положення до повного водонасичення підпорядковується закону модифікованої експоненти.
* Розроблена чисельна модель міграції мінералізованих вод змінної густини з відстійників, що відрізняється від існуючих відтворенням фільтрації через льосову основу водовідстійника та шарувато-неоднорідну товщу в умовах змін фільтраційних та геомеханічних властивостей внаслідок реакцій розчинення.
* В розроблених розрахункових схемах щодо визначення втрат води з хвостосховищ та відстійників вперше детально враховано динамічні зміни властивостей порід основ в умовах їх фільтраційних деформацій.
* Встановлено, що значення зчеплення льосового грунту при короткочасних навантаженнях знижується приблизно в 2,5...2,8 рази в порівнянні з тривалими статичними навантаженнями, а кут внутрішнього тертя знижується в 1,7...2,8 рази для ґрунту різної вологості.
* Встановлено, що характеристики міцності лесових просідаючих ґрунтів при динамічних впливах, що створюють вібрації в діапазоні прискорень 0…4,3g м/с2 і вологості 11...22% змінюються: при короткочасному навантаженні кут внутрішнього тертя ґрунту знижується в 1,5 рази за експоненційною залежністю при незмінній величині зчеплення, а при тривалому навантаженні кут внутрішнього тертя і зчеплення знижуються в 2 і 1,5 рази відповідно за експоненційною залежністю, що дозволяє використовувати отримані результати для оцінки стійкості основ інженерних об'єктів і ґрунтових масивів.
* Розроблена чисельна модель геотехнічної системи «споруда–неоднорідний ґрунтовий масив» для проведення досліджень і прогнозу стійкості льосових основ будівель і споруд з урахуванням динамічних впливів. За результатами моделювання встановлено, що навіть незначне зниження міцності ґрунту при впливі на нього вібраційних навантажень веде до зміни напружено-деформованого стану основ і, як наслідок, його деформацій, з тенденцією збільшення їх до небезпечних значень.
* Встановлені закономірності зміни напружено-деформованого стану геотехнічної системи «споруда–неоднорідний ґрунтовий масив» при впливі тривалих динамічних навантажень від поверхневого джерела для різних параметрів віброзахисного екрану.

**Наукове значення роботи** визначають вперше встановлені закономірності та їхнє науково-практичне використання, а саме:

– закономірності фільтраційних і деформаційних процесів при формуванні зсувів течії з виділенням критичної фази фільтраційної інверсії та прогноз стійкості ґрунтових схилів в умовах техногенного навантаження;

– закономірності між коефіцієнтом стійкості неоднорідного грунтового схилу і способом задання лінії ковзання, а також відміткою рівня підземних вод, що дозволяє прогнозувати стійкість грунтових укосів і схилів в умовах міської забудови при змінному рівні підземних вод;

– закономірності змін геомеханічних властивостей льосових порід, обумовлених міграцією мінералізованих вод, що становить теоретичну основу для визначення параметрів технічних рішень з локалізації гідродинамічного та фізико-хімічного впливу відстійників рудничних вод та хвостосховищ на грунтовий масив;

– закономірності зміни характеристик міцності льосових просідаючих грунтів – зчеплення і кута внутрішнього тертя від динамічних дій і вологості для умовно-миттєвого і тривалого часу навантаження та обґрунтовані параметри способу захисту фундаменту будівлі, розташованої на льосовій основі, за допомогою віброзахисного екрану від впливу динамічного навантаження.

**Практичне значення результатів роботи.**

* Обґрунтовано методику оцінки стійкості льосових схилів, що базується на врахуванні енергетичних і гідродинамічних параметрів, яка адаптована для розв’язання задач стійкості льосів у техногенно порушеному масиві. Основним параметром, який визначає зсувонебезпечність льосового масиву, є потенціал активації схилу у вигляді суми градієнтів повної енергії та градієнтів деформацій. Потенціал активації в стадії активізації зсувного процесу знаходиться в діапазоні 0,08...0,09 і є критичним.
* Вирішені практичні завдання оцінки стійкості льосових порід на ж/м “Тополя”, б. Тунельній та вул. Сімферопольській (м. Дніпро). За результатами аналізу енергетичних і фільтраційних властивостей техногенно навантаженого льосового масиву визначено інтервали глибин і геологічні шари, що характеризуються найбільш інтенсивним розвитком деформаційних і суфозійних процесів.
* Розроблені методика стохастичного розрахунку стійкості низового укосу та методика комплексного розрахунку стійкості грунтових схилів.
* Розроблені та адаптовані до реальних об'єктів моделі фільтрації і масопереносу в неоднорідній товщі порід, що дозволило достовірно оцінити вплив міграції мінералізованих вод на геомеханічний стан масиву льосових порід.
* За результатами прогнозування гідрогеохімічної обстановки центральної частини Кривбасу і ділянки Малишевського родовища Ti-Zr руд в умовах втрат з водовідстійників та хвостосховищ оцінені діапазони фізико-хімічних та гідродинамічних змін у грунтових масивах.
* Обгрунтоване технологічне рішення пошарового укладання глинистого ґрунту і його ущільнення, що дозволяє на порядок зменшити проникність льосових порід основи, скоротити фільтраційні втрати з хвостосховища на 60…70% і площу зони підтоплення в порівнянні з неущільненим екраном.
* Розроблені методики:

- проведення комплексних натурних вимірювань параметрів динамічних дій, створюваних рухом транспорту, із застосуванням віброметра VM 6360;

- проведення лабораторних досліджень з визначення характеристик міцності просідаючих ґрунтів при дії вібродинамічних навантажень;

- визначення рекомендацій з охорони об'єктів, розташованих на льосовій основі, в зоні дії динамічних навантажень від технологічного обладнання і транспорту.

**Реалізація результатів роботи.** Результати досліджень впроваджено у ТОВ НВП “ДніпроДІІНТР” у вигляді рекомендацій щодо проектування і проведення моніторингових та інженерних заходів на потенційно зсувонебезпечній ділянці ж/м “Тополя”, при розрахунках стійкості бортів Тунельної балки, методиці проведення комплексних натурних вимірювань параметрів динамічних дій від транспорту та методиці проведення лабораторних досліджень з визначення характеристик міцності просідаючих ґрунтів при дії вібродинамічних навантажень; проекті і впровадженні підсилення основ фундаментів будинку ОСББ ЖК “Славний” (м. Дніпро) інститутом “Дніпропроектстальконструкція” з реальним економічним ефектом 2,5 млн грн; в будівельній фірмі «МЛАД» у вигляді рекомендацій з охорони об'єктів в зоні дії динамічних навантажень; на ПАТ “Кримський Титан” у вигляді рекомендацій щодо екранування хвостосховища з метою попередження забруднення підземних вод при спорудженні хвостосховища відходів збагачення титано-цирконієвих руд на Мотронівсько-Аннівській ділянці Малишевського родовища; при розрахунках грунтової греблі для зміцнення берега в м Дніпро на Набережній Перемоги (ТОВ «Гідропроектбуд»).

**Кількість публікацій:** 66, в т.ч. 1 монографія, 1 підручник (посібник), 1 методичні рекомендації, 63 статті (з них 4 – у зарубіжних виданнях, 4 – у виданнях, що входять у наукометричну базу Scopus, 5 – у виданнях, що входять у наукометричну базу РІНЦ, 5 – у виданнях, що входять у наукометричну базу Index Coperniсus). Згідно бази даних Google Shcolar загальна кількість посилань на публікації авторів, представлені в роботі, складає 16, h-індекс (за роботою) = 2. За даною тематикою захищено 4 кандидатські дисертації.

Автори роботи:

Н.І. Деревягіна

Т.І. Перкова

К.С. Причина

Н.М. Шепель