

**УДК 332.23**

**Люсак А. В., к.т.н., доцент, Кахнич П. Ф., к.т.н., доцент**  
(Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

## **ПЕРЕДБАЧЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ СФОРМОВАНОГО ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ З УРАХУВАННЯМ ДИНАМІКИ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВ ТЕРИТОРІЇ**

**Наведено результати аналізу основних умов розвитку сформованого міського землекористування з врахуванням динаміки інженерно-геологічних умов території.**

***Ключові слова:* інженерно-геологічні процеси, гідрогеологічні умови, напружено-деформований стан, чисельні методи.**

У сучасному світі динамічні інженерно-геологічні процеси на території міста виступають як одні з найвпливовіших чинників перетворення природного середовища. Економіка, виробництво, транспортні вузли, будівництво та все інше, без чого не може існувати людина у місті, у своєму функціонуванні змінює, деформує та порушує природний ландшафт, усі його складні багатопараметрові зв'язки. Але функціонування міста неможливе без врахування динаміки геологічних, геоморфологічних, рельєфоутворюючих процесів, перебіг яких може значно погіршуватися внаслідок інтенсифікації антропогенного навантаження та, у свою чергу, погіршувати якість міського життя.

Більшість міст розташовані на ділянках земної поверхні, які втримують довготривале антропогенне, техногенне навантаження, що докорінно змінило природні ландшафти. Складна геосистема, в якій функціонують природна, економічна, та соціальна складові, має вже свої закони існування, але геоморфологічні процеси, що відбуваються у геологічному середовищі, повинні досліджуватися як з метою пізнання динаміки сучасних рельєфоутворюючих тенденцій, так із метою передбачення виникнення та активізації інженерно-геологічних процесів і явищ.

Сучасні дослідження показують, що багато важливої інформації про динамічні зміни інженерно-геологічних умов можуть дати постійні спостереження за гідрогеологічними умовами територій [5, С. 65]. Це пов'язано з тим, що підземні води спричиняють розвиток бі-

льшості геодинамічних процесів у верхніх горизонтах земної кори, та в основах фундаментів споруд.

Оскільки геодезичний моніторинг дає кількісні характеристики деформацій земної поверхні та споруд внаслідок впливу різних факторів, то доцільно розглянути можливість передбачення деформаційних процесів при дослідженні гідрогеологічних умов на територіях міст. Такі дослідження дадуть можливість виявити найвірогідніші локальні місця виникнення деформаційних процесів і передбачити інженерний захист будівель та споруд.

Будівництво і експлуатація будь-яких будівель та споруд приводить до зміни локальних, а інколи і регіональних гідрогеологічних умов. Як правило, ці зміни негативно впливають на інженерно-геологічні умови територій. Будівництво супроводжується перерозподілом щільності покривних відкладень на будівельних майданчиках і за їх межами. В місцях тривалого складування будівельних матеріалів, роботи будівельних механізмів відбувається ущільнення дисперсних гірських порід. Після розпланування території вказані ділянки переущільнених ґрунтів і відходи будівельних матеріалів залишаються на невеликій глибині. В періоди інтенсивних атмосферних опадів або витоків води із комунальних мереж тут формуються тимчасові підземні води техногенного водоносного горизонту. Вони не тільки ускладнюють умови експлуатації будівлі чи споруди, але можуть спричинити зародження і розвиток таких процесів, як суфозія. Найбільших змін зазнають ґрунтові води. Виникає необхідність в комплексний моніторинг включити спостереження за ходом рівнів ґрунтових вод на мережі спостережних свердловин [3, С. 113].

Щільність пунктів спостережень необхідно коригувати у відповідності з державною регіональною спостережною мережею. Частота спостережень у звичайних умовах повинна бути один раз на декаду, а при випаданні великих добових сум атмосферних опадів або при руйнуванні водопровідно-каналізаційної мережі – щоденно [5, С. 66]. За даними спостережень будуються великомасштабні (1:5000, 1:2000) електронні карти гідроізогіпс, аналіз яких дає великий об'єм інформації про динаміку ґрунтових вод та їх вплив на інженерно-геологічні умови. З допомогою серії таких карт вдається встановити місця витоків води з каналізаційної мережі або інших джерел.

Значну інформацію дають і зміни конфігурації та відстані між сусідніми гідроізогіпсами. Наприклад, збільшення горизонтальної відстані між сусідніми гідроізогіпсами зумовлено зменшенням гідрав-

лічного нахилу ґрунтових вод. Це пов'язано із збільшенням коефіцієнта фільтрації інженерних ґрунтів, що може бути зумовлено зміною їх пористості або розміру пор. Такі явища мають місце при виносі тонкодисперсних фракцій інженерних ґрунтів або при руйнуванні природного цементу. В усіх перерахованих випадках це призводить до зменшення несучої здатності ґрунтів [6, С. 208].

Різке зменшення горизонтальної відстані між сусідніми гідрозогіпсами вказує на зменшення в цьому місці водопроникності ґрунтів, яке може бути пов'язане з їх ущільненням та збільшенням несучої здатності, але може бути причиною підвищення рівня ґрунтових вод та підтоплення. На місця небезпечної ситуації в межах окремих територій може вказувати поява так званих «лійок депресії» на поверхні ґрунтових вод. Це вказує на те, що в таких місцях вода перетікає в нижче лежачі горизонти підземних вод [5, С. 65].

Дослідження останніх років показали, що напірні міжпластові води можуть знаходитися в досить тісному гідравлічному взаємозв'язку з ґрунтовими водами. Різке зниження рівнів в цьому горизонті, яке може бути викликано його використанням для водопостачання, призведе до інтенсифікації низхідної фільтрації, що, в свою чергу, буде активізувати суфозійно-карстові процеси. Підняття ж рівнів може викликати висхідну фільтрацію, яка в піщаних гірських породах зменшує їх несучу здатність. Кількість пунктів спостережень за напірними водами повинна забезпечувати репрезентативність результатів вимірювань для створення математичної моделі гідродинамічного процесу [5, С. 65].

Значний обсяг інформації про стан ґрунтів в основі фундаментів дають спостереження за режимом хімічного складу ґрунтових вод. Спираючись на них можна своєчасно встановити місця пошкодження підземних комунікацій [4, С. 210].

Деформації інженерних ґрунтів та гірських порід приділяється багато уваги. Зокрема, слід відмітити доробки В.М. Добриніна, Н.Н. Павлової, Ю.П. Желтова, які у своїх працях показали різнобічний вплив гідрогеологічних факторів на деформацію та властивості ґрунтів.

Про пластичну деформацію глинистих порід у процесі експлуатації вперше згадує Ф.І. Котяхов, який довів, що пластичні деформації порід ведуть не тільки до порушення шарів, але і до руйнування будівель та споруд.

На думку багатьох дослідників (В.С. Войтенко, І.Х. Мамедов, Г.А. Стрілець, Б.С. Філатов та ін.), порушення шарів відбувається під

дією пластичної деформації глинистих і соленосних порід, які можуть виникати як в результаті проявів тектонічних рухів, пов'язаних з геодинамікою, так і тектонічних рухів, зумовлених зміною гідрогеологічних умов. На деформацію порід та ґрунтів значний вплив мають геодинамічні процеси та складність геологічної будови того чи іншого регіону.

Особливої уваги при виявленні причин порушення геологічних шарів заслуговують такі напрямки в геодинамічних дослідженнях [7, С. 36]:

- аналіз успадкованості рухів шляхом співставлення графіків амплітуд і швидкостей сучасних тектонічних рухів;
- оцінка напруженого стану земної кори та його зміна в просторі і часі.

Деформації порід, з якими пов'язані зсувні процеси, зумовлені складними вертикальними та горизонтальними рухами земної кори.

Першопричиною або рушійною силою деформацій ґрунтового масиву виступає початковий напружено-деформований стан (НДС) і його зміна в процесі освоєння.

При вирішенні різних задач прикладної геомеханіки виникає необхідність вивчення і кількісного прогнозування геомеханічних процесів, що протікають в масивах багатофазних ґрунтів, які взаємодіють із спорудами і навколишнім середовищем. Очевидно, такий прогноз пов'язаний з прогнозом НДС масиву ґрунту в часі. Розв'язок таких задач можливий при використанні досягнень інженерної геології, гідрогеології, ґрунтознавства, механіки ґрунтів.

Процес, що протікає в масивах багатофазних ґрунтів неоднорідної будови, складу, розмірів і форми інженерно-геологічних елементів ускладнюється впливом на нього численних факторів, зокрема випадкових, що іноді приводить до необхідності розгляду стохастичного методу прогнозування НДС.

У більшості ж випадків геомеханічний процес детермінований та ускладнений випадковими складовими, а саме: зміна фізико-механічних властивостей ґрунтів в просторі та часі, граничних умов (атмосферні і сейсмічні дії), похибки у визначенні механічних властивостей ґрунтів тощо. Наявність таких випадкових чинників обмежує ступінь обґрунтованості і достовірності кількісного прогнозування геомеханічних процесів визначеними методами і робить його тільки ймовірним.

У зв'язку з цим можна говорити не про однозначний прогноз НДС масивів ґрунтів, а про вірогідні межі його змін. Розглянемо де-

терміновані методи прогнозу НДС ґрунтових масивів, вважаючи, що випадкові або короточасні фактори можуть бути враховані шляхом якнайменше вигідного їх поєднання в розрахунковій схемі тієї або іншої задачі.

В даний час математичне моделювання НДС масивів ґрунтів здійснюється чисельними методами: методами скінченних елементів, кінцевих різниць і граничних елементів (МСЕ, МКР, МГЕ) з використанням нелінійних моделей ґрунтів. Це дозволяє розглядати НДС масиву неоднорідної структури з урахуванням поетапності його навантаження, зміни граничних умов, форми і розмірів розрахункової області, зміни параметрів деформації і міцності ґрунтів на кожному етапі тощо [1, С. 78].

Разом з тим, в деяких випадках вдається одержати розв'язок прикладних задач аналітичним методом.

Охарактеризуємо напружено-деформований стан ґрунту в залежності від основних процесів гідрогеологічних умов [1, С. 123; 2, С. 104].

#### *1. Осідання земної поверхні при будівельному водозниженні*

Будівельне водозниження здійснюється при осушенні території чи котловану під захистом загороджувальних конструкцій для виконання земляних робіт. При цьому усередині котловану і за його межами змінюється НДС ґрунту, який призводить до осідання земної поверхні в межах контуру котловану і за його межами.

В більшості випадків захищаюча конструкція котловану заглиблюється у водонепроникний шар і це виключає притоку води в котлован через стіну. У таких випадках водозниження в самому котловані призводить не до утворення депресивної воронки за його межами, а лише до рівномірного водозниження рівня води всередині котловану. В деяких випадках водонепроникний шар знаходиться на великій глибині і доводиться захисну конструкцію заглиблювати або створювати протифільтраційні елементи (вертикальні і горизонтальні), щоб скоротити притік води в котлован. Як у першому, так і в другому випадках виникає необхідність виконання гідрогеологічних і геомеханічних розрахунків.

Перші – для визначення зміни гідрогеологічних умов, а другі – для визначення НДС масиву.

Основним чинником, що впливає на НДС масиву при водозниженні, є зміна щільності ґрунту до і після водозниження, коли частинки ґрунту звільняються від дії архімедівських зважуючих сил в поровій рідині.

Слід зазначити, що архімедівські сили діють, в основному, в піщаних, супіщаних і суглинних ґрунтах. У щільних глинистих ґрунтах вони практично відсутні, оскільки вода в порах зв'язана.

При водозниженні в кожному одиничному об'ємі ґрунту виникає додаткова об'ємна сила.

Така ситуація виникає, коли на великих територіях, зокрема міських, має місце водозниження або зниження тиску у водоносних горизонтах, внаслідок відкачування з нього води для потреб міста [1, С. 118; 2, С. 103].

При утворенні депресивної воронки при будівельному водозниженні для кількісної оцінки НДС масиву ґрунту і визначення просідання його поверхні необхідно вирішувати складнішу задачу, особливо, якщо масив неоднорідний.

У таких випадках неминуче доводиться використовувати чисельні методи.

## *2. Осідання земної поверхні унаслідок суфозії і карстово-суфозійного процесу*

Суфозія і карстово-суфозійні процеси пов'язані з фільтрацією води в масивах ґрунтів і напівскельних породах. Розрізняють механічну і хімічну суфозію, внаслідок чого в певних локальних областях масиву фізико-механічні властивості (щільність, гранулометричний і хімічний склад) істотно змінюються в часі. Це призводить до зміни НДС масиву без зміни зовнішніх силових дій і до осідання земної поверхні. Суфозія іноді може бути обумовлена техногенними діями, зокрема зміною гідрогеологічних умов (баражний ефект, витоки з підземних комунікацій тощо).

Суфозійність, як відомо, залежить від гранулометричного і хімічного складу ґрунту і градієнта тиску води в його порах. Існують критерії для оцінки суфозійності ґрунтів. При відомих параметрах зміни фізико-механічних властивостей ґрунтів в основі споруд і розташування локальної області ослаблення ґрунтів по відношенню до фундаменту споруди НДС такого масиву легко піддається кількісній оцінці чисельними методами прикладної геомеханіки [2, С. 108].

Карстово-суфозійні процеси, як правило, виникають на територіях, в геологічному розрізі яких присутні розчинні гірські породи, покрівля яких контактує з рихлими відкладеннями, і має місце інтенсивний потік фільтрації підземних вод. Залежно від мінералогічного складу скельні і елювіальні ґрунти можуть бути схильні до: руйнування і розпаду агрегатів сланців, аргелітів та інших порід; розчинення і винесення гіпсу або кам'яної солі; набухання і просідання елювіальних ґрунтів.

Слід зазначити, що в результаті інженерно-геологічних досліджень не завжди вдається одержати необхідну інформацію про будову і властивості ґрунтового масиву, який повинен взаємодіяти з запроєктованою спорудою. Для розробки конструктивних заходів щодо зниження несприятливих дій карсту необхідно прогнозувати НДС масиву, ураженого карстовими процесами.

### *3. НДС фільтруючих масивів ґрунтів*

Потік фільтрації в масиві ґрунту створює механічну дію на скелет ґрунту, яка характеризується силою фільтрації, співрозмірною з силою тяжіння. Висхідний потік фільтрації може призвести до деформації і руйнування скелету ґрунту. Тому в прикладних задачах геомеханіки розглядають НДС фільтруючих масивів під впливом зовнішніх сил, сил гравітації, фільтрації і сейсміки, тобто об'ємних сил [1, С. 190; 2, С. 83].

**Висновки.** Проведений нами аналіз можливостей використання матеріалів гідрогеологічних спостережень носить інформативний характер. За аналізом хімічного складу ґрунтових вод, НДС ґрунтового масиву, особливостями конфігурації гідроізогіпс важко одержати повну характеристику інженерно-геологічного процесу. Однак, важливо те, що вони вказують на місця, де створилися несприятливі умови для стійкості інженерної споруди. Це дає можливість провести в цих місцях додаткові дослідження і на їх основі визначити вид, характер і напрямок розвитку несприятливого інженерно-геологічного процесу, а також розробити заходи для ліквідації цього процесу або послабити його негативну дію.

1. Тер-Мартиросян З. Г. Прогноз механических процессов в массивах многофазных грунтов / З. Г. Тер-Мартиросян. – Москва : Изд. Недра, 1986 г. – 291 с.
2. Цитович Н. А. Основы прикладной геомеханики в строительстве / Н. А. Цитович, З. Г. Тер-Мартиросян. – Москва : Высшая школа, 1981 г. – 317 с.
3. Черняга П. Г. Модель оцінки небезпечних фізико-геологічних процесів на сформованих землекористуваннях в населених пунктах / П. Г. Черняга, Т. В. Бухальська, А. В. Люсак // Містобудування та територіальне планування. – Київ, 2009. – Випуск 32.
4. Черняга П. Г. Передбачення деформаційних процесів на геодинамічних полігонах АЕС з урахуванням динаміки гідрогеологічних умов / П. Г. Черняга // Інженерна геодезія. – Вип. 43. – 2000. – С. 208–215.
5. Черняга П. Г. Облік гідрогеологічних умов при дослідженні деформацій споруд АЕС / Черняга П. Г., Касянчук А. Г., Сяський В. А. // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 1992. – № 54. – С. 61–66.
6. Chernyaga P. Forecasting deformations of the Earth surface and structures at atomic power stations sites / P. Chernyaga // Reports on Geodesy. – Politechnika Warszawska. – 1999. – № 4 (45). – P. 205–209.
7. Frank F. C. Deduction of earth strains from survey data / F. C. Frank – Bull. Seismol. Soc. Amer., 1966, v. 56, № 1. – P. 35–41.

Рецензент: к.т.н., доцент Ліщинський А. Г. (НУВГП)

---

**Liusak A. V., Candidate of Engineering, Associate Professor,  
Kahnuch P. F., Candidate of Engineering, Associate Professor** (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

### **FORECAST OF DEFORMATION PROCESSES SUSTAINABLE LAND USE WITH ACCOUNTING DYNAMICS OF ENGINEERING-GEOLOGICAL CONDITIONS OF THE TERRITORIES**

**Recent studies show that a lot of important information about the dynamic changes in geological conditions can provide constant monitoring of hydrogeological conditions territory, because geodetic monitoring provides quantitative characteristics of strains of land and buildings as a result of various factors, it is advisable to consider the prediction of deformation processes in the study of hydrogeological conditions in the city. Such studies will enable most likely discover local places of occurrence of deformation processes and provide engineering protection of buildings.**

***Keywords:* geotechnical processes, hydrogeological conditions, mode of deformation, numerical methods.**

---

**Люсак А. В., к.т.н., доцент, Кахнич П. Ф., к.т.н., доцент**  
(Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

### **ПРЕДВИДЕНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ СЛОЖИВШЕЙСЯ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ТЕРРИТОРИИ**

**Приведены результаты анализа основных условий развития сложившегося городского землепользования с учетом динамики инженерно-геологических условий территории.**

***Ключевые слова:* инженерно-геологические процессы, гидрогеологические условия, напряженно-деформированное состояние, численные методы.**

---