

А.В. Явеляєв, В.Ю. Єгупов

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

ОСНОВИ СУЧАСНОЇ МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОТЕХНІЧНИХ ТА ГІДРОГЕОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ

Стаття присвячена вивченню питання методики дослідження геотехнічних та гідрогеологічних систем у сучасному суспільстві, новітнім підходам до вивчення геотехнічних та гідрогеологічних процесів, що є важливими для забезпечення безпеки та ефективності інженерних споруд, особливо в умовах складних геологічних середовищ та можливостей їх удосконалення.

Ключові слова: наукова революція, проблематика, синергетика як наука, гідросистема, вплив людини.

Постановка проблеми

Проблематика даної тематики полягає у ефективності методики від якої залежить точність і надійність оцінок, що робляться для забезпечення стійкості інженерних споруд та запобігання небезпекам, пов'язаним з природними та техногенними процесами.

У другій половині XX століття в загальнонауковій методології відбулися значні зміни, пов'язані з усвідомленням фахівцями що у світі відсутня будь яка лінійність процесів. У світлі розвитку технічних можливостей та наукових досліджень, які дозволяли вченим глибше проникати в сутність досліджуваних процесів і явищ, ставало очевидним, що їх уявлення про розвиток природних об'єктів у вигляді лінійної системи, більше не в змозі пояснити неузгодженість нових наукових фактів теорії. У науці зріло революційне перетворення, що вимагало створення нових парадигм, підходів та принципів у дослідженнях і наукових сферах. Внаслідок цього, починаючи з 60-х років XX століття, почали бурхливо розвиватися нові напрями в науці, засновані на динаміці концепції вигляду нелінійності. Переосмислення класичної науки призвело до формування загальнонаукової синергетичної парадигми, яка об'єднала новітні досягнення в таких галузях, як теорія систем, інформація, нелінійна термодинаміка, кібернетика, нелінійна механіка навколишнього середовища та інші. Не оминула інноваційність й науки про Землю, зокрема – геотехніку та інженерну гідрогеологію. Особливості цих наук у неможливості спостереження за розвитком геосистем в режимі реального часу, професійна інертність і невідповідність геологів, геотехніків і гідрогеологів загалом до розуміння парадигми в синергетиці, що певним є якорем і не дає використовувати її в дослідженнях. Сьогодні зусилля науковців у галузях геотехніки, інженерної

геології та гідрогеології спрямовані на реалізацію синергетичної парадигми в теорії та практиці, чим доводить необхідність ознайомлення спеціалістів будівництва та природокористування з основними положеннями цієї теорії та інформації щодо проблем геотехніки, а суміжних наук з новими підходами у відповідних дослідженнях.

Таким чином, проблема полягає у відсутності цілісного підходу до основ сучасної методики дослідження геотехнічних та гідрогеологічних систем, що дозволило б вирішити низку питань для їх вирішення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз літературних джерел, присвячених основам сучасної методики дослідження геотехнічних та гідрогеологічних систем, дозволяє визначити сучасні підходи, концепції та практичні рекомендації у цій сфері, зокрема, дослідження К.А. Немец, Г. Хакен, В.Ю. Єгупов, Г.Г. Стрижельчик, О.В. Кічаєва, Кевін М. Хіскок, Бенс В.Ф., В. Н. С. Мурті, Браха М. Дас, Борзяк Ольга Сергіївна, Лютий Віталій Анатолійович, Романенко Олександр Валерійович, Нам-Хо Кім, Бхавані В. Санкар, Ашок В. Кумар, Наливай А.Б.; Парк, Ю.; Парк, Т.С.; Гонг, Дж.К.; Хашім, М.; Ву, Дж.; Аюобі, І. [1-10].

Серед невирішених питань можна відзначити:

Складність інтеграції різних дисциплін.

Оцінка ресурсу стійкості еколого-геотехнічних систем вимагає інтеграції знань з різних галузей — екології, геотехніки, урбаністики, інженерії та економіки. Цей процес може бути ускладнений через відсутність єдиних підходів до аналізу і моделювання комплексних систем, що поєднують ці дисципліни.

Висока складність і ресурсоемність методів оцінки

Для комплексної оцінки стійкості необхідно застосовувати складні методи моделювання та аналізу, що потребують значних фінансових, часових та людських ресурсів. Це може обмежувати можливості застосування методології на практиці, особливо в умовах обмежених бюджетів або коротких термінів.

Недостатня кількість доступних даних

Оцінка стійкості еколого-геотехнічних систем вимагає великої кількості точних і актуальних даних щодо стану природних, техногенних та соціальних систем. В умовах урбанізованих і промислових територій часто спостерігається відсутність або фрагментарність таких даних, що може знижувати точність і надійність оцінки.

Відсутність єдиного стандарту оцінки

На даний момент у світі немає єдиного узгодженого стандарту або нормативу для оцінки стійкості еколого-геотехнічних систем. Це призводить до розбіжностей у підходах, що ускладнює порівняння результатів і затруднює впровадження методології на практиці.

Мета та завдання статті

Мета дослідження: розглянути можливості сучасної методики дослідження геотехнічних та гідрогеологічних систем, з урахуванням специфіки та проблематики даного напрямку.

Завдання дослідження:

1. Визначити та обґрунтувати ключові фактори сучасної методики дослідження геотехнічних та гідрогеологічних систем.
2. Зрозуміти важливість сучасної методики дослідження геотехнічних та гідрогеологічних систем у містобудуванні.
3. Надати рекомендації щодо вдосконалення сучасної методики дослідження геотехнічних та гідрогеологічних систем для більш ефективного використання у містобудуванні.

Виклад основного матеріалу

Наприкінці XX століття була сформована синергетична парадигма, яка майже повністю змінила наукові явища про розвиток навколишнього світу. Її суть полягає у розумінні не лінійності та не передбачуваності процесів еволюції в складних системах і виникнення режимів із загостренням (швидким лавиноподібним зростанням). Сьогодні синергетичний підхід все частіше використовується в геології та суміжних дисциплінах, оскільки синергетичні принципи та закономірності саморозвитку великих та складних систем, безперечно поширюються і на геосистеми. В першу чергу даний підхід буде цікавий науковцям, що

займаються дослідженням систем в реальному часі. Ситуація з науками про Землю із впровадженням синергетичної парадигми суттєво інша. В геології об'єкти дослідження геосистеми, мають розвиток в певному масштабі, характерний період такого розвитку цих процесів становить біля 100 - 110 років. Внаслідок цього геологічні структури (геосистеми) сприймаються сучасною людиною як статичні об'єкти і досліджуються переважно як джерела інформації про їх теперішній структурний стан. Основним інструментом для вивчення динаміки геосистем є гіпотетичні концептуальні моделі, які частково підтверджуються результатами польових досліджень. Отже, аналіз та вивчення можливостей використання принципів синергетики в досліджуваних геосистемах є не тільки важливим теоретичним, але й практично значущим завданням. У середині 60-х років німецький вчений Г. Хакен [2], визначив основні принципи синергетики про взаємодію та саморозвиток у науці та практиці у вигляді складних систем. Це дослідження стало можливим завдяки розробкам у теорії систем: А. Богданова та Л. Бергаланфі, у кібернетиці Н. Вінера, у теорії інформації Р. Хартлі і К. Шеннона, а також роботам інших вчених, що мали місце в першій половині XX століття.

Основним процесом у гідрогеосистемах є фільтрація рідини в пустотах і тріщинах водоносних порід. Основною їх особливістю є те, що вони, будучи вторинними утвореннями щодо первинних геологічних структур та техногенно-геотехнічних об'єктів, є більш динамічними, змінюються значно швидше, а їх еволюція може бути спостережена і досліджена протягом кількох років або десятиліть. Ще однією особливістю гідрогеосистем є те, що всі їхні режими (гідрохімічний, гідродинамічний, гідротермальний та інші) добре формалізовані і описуються відповідно до їх рівняння, що дозволяє використовувати ці дослідження як математичні моделі. Крім того, режим гідрогеосистем легше контролювати, це означає що експериментувати з їх динамікою стає можливим. Коли система знаходиться в стані повної рівноваги, в ній немає потоків і джерел. Це означає, що всередині системи та між нею та зовнішнім середовищем відсутні градієнти і потоки речовини та енергії, з максимальним значенням ентропії. У гідродинамічному контексті це означає, що в гідрогеосистемі відсутні градієнти потенціалу гравітації, таких як: (тиску) та потоку (руху) підземних вод. Частинки води (агрегати молекул) у поровому просторі переміщуються хаотично лише під дією сил взаємодії молекул.

При виведенні системи з рівноваги між нею та зовнішнім середовищем виникають речовинно-енергетичні градієнти, внаслідок чого починається матеріально-енергетичний та інформаційний обмін всередині системи та з навколишнім середовищем. У дещо незбалансованому стані (в межах гомеостазу) ці потоки будуть мати лінійний оборотний характер, а коливання параметрів системи під впливом зовнішнього середовища стримуються механізмами негативного зворотного зв'язку, завдяки чому система зберігає стабільність структури та функціонування при мінімальній ентропії.

Щодо гідрогеосистеми, то слід зазначити, що поява градієнта тиску внаслідок зміни зовнішнього середовища починає впливати на молекулярну взаємодію води та частинок гірської породи в поровому просторі. У пустотах великого розміру гравітаційний рух води починається при мінімальному градієнті тиску. В дрібніших порах, де в гранулометричному складі ґрунту міститься багато глинистих частинок, спершу виділяється структурна в'язкість води, де потенціал ґрунту зумовлений його сорбційними властивостями. Водяний рух в таких порах починається лише при досягненні певного початкового градієнта тиску, достатнього для подолання молекулярних сил взаємодії. Лише після цього в гідрогеосистемі формуються умови для ламінарного потоку підземних вод (закон Дарсі).

Особливість структури потоку залежить від його початкової геологічної будови гідрогеосистеми або штучно створеної геотехнічної системи, а також від гідродинамічних умов на її межах. Вектор швидкості потоку у кожній з точок, має сталий напрямок, а його величина залежить від градієнта тиску. Це забезпечує сталість гідродинамічної структури стоку та гідрогеосистеми в цілому. В умовах незбалансованого стану (поблизу межі гомеостатичної області) потоки матеріальних, енергетичних та інформаційних ресурсів набувають нелінійного характеру і можуть бути описані за допомогою нелінійних рівнянь. Через це активується зв'язок позитивно - зворотнього механізму, який призводить до накопичення флуктуацій (мутацій) у системі. У сильно незбалансованому стані (неврівноваженому) переважає дія механізмів з позитивно зворотнім зв'язком, в результаті чого коливання не пригнічуються, а накопичуються. При досягненні ними критичних значень в точках біфуркації у стані нестійкості, система зазнає фазового переходу, тобто перескакує в новий стан – формуються нова структура, властивості, поведінка, функції тощо. У гідрогеосистемі зростання нестабільності призводить до турбулентності течії, при пульсації вектора швидкості у будь-якій точці, безладно змінюючи як напрямок так і довжину. Такий тип течії характеризується біноміальною

залежністю швидкості фільтрації від градієнта тиску, при цьому квадратичний член є домінуючим. У цьому випадку в породах з добре проникною здібністю може виникати суфозія, внаслідок якої відбувається зміна як мезоструктурного потоку підземних вод так і незворотно змінюються літологічний склад з геотехнічними характеристиками водовміщуючих порід через винос дрібних часток.

Отже, поза межами гомеостатичної області (режиму лінійної течії) в гідрогеосистемі відбуваються незворотні зміни, які в умовах деградації можуть призвести до її повного руйнування. У той же час, в межах впливу подібної гідрогеосистеми, інженерні споруди (дамби, будівлі, тощо) будуть втрачати свою стійкість, з частковим або повним руйнуванням структури фундаменту.

Часто в точці біфуркації існує багато можливих варіантів подальшого розвитку системи (нових станів), з яких навімання обирається найбільш вірогідний. Далі система продовжує розвиток за обраним варіантом до певного стану біфуркації. Таким чином, траєкторія розвитку нерівноважних систем - це послідовність точок біфуркації, в яких реалізується революційна стрибкоподібна фаза розвитку, а між ними, більш спокійна – еволюційна, де є поступове накопичення нових властивостей. Тому, якщо на фазі еволюційного розвитку відбувається накопичення великої кількості великих змін параметрів, то в наступній точці біфуркації, можливе переміщення системи в зону тяжіння іншого атрактора (англ. attract — сукупність точок фазового простору, до яких фазові траєкторії руху системи збігаються). Це призводить до радикальної зміни напрямку у розвитку. Окрім того, на вищих (ієрархічних) рівнях системи відбувається формування специфічного параметру порядку, які визначають її поведінку та властивості на макрорівні, оскільки мають значно більший вплив порівняно з діючими факторами нижчих ієрархічних рівнів. Внаслідок стохастичності поведінки нерівноважної системи в точках біфуркації прогнозування її розвитку в цілому стає проблематичним.

З викладеного видно, що в предметно-об'єктній галузі інженерної геології, гідрогеології та геотехніки можна знайти підтвердження та методичні можливості застосування основних положень та принципів синергетики при дослідженні гідрогеотехнічних систем [3-4]. Проте слід зазначити особливість у функціонуванні гідрогеосистем – це те, що майже усі вони, на різних рівнях ієрархії, відчують на собі дію потужного універсального параметра впорядкованості – впливу людини. У деяких випадках цей вплив є цілеспрямованим, і тоді можна говорити про контроль над гідрогеосистемами

(осушення, водозабори, поповнення запасів, оптимізація систем, тощо). У деяких випадках вона проявляється як несподіваний наслідок використання природних ресурсів, наприклад, опустелювання, затоплення, зміни ландшафту, осідання земної поверхні, зниження якості підземних вод чи виснаження водоносних шарів. Якщо в першому випадку мета розвитку гідрогеосистеми (атрактор розвитку) визначається свідомо суспільством, тоді як у другому – вона виникає випадково через нездатність людини передбачити негативні наслідки використання природних ресурсів. Саме в цьому полягає необхідність у розвитку гідрогеосистем, враховувати синергетичність різних ефектів з метою кращого розуміння механізмів за для мінімізації або повної ліквідації негативних наслідків управління не лише гідрогеосистемами, а й природними системами в цілому.

Висновки

Проаналізувавши усе вище сказане, сміливо можна заявити що, можливості сучасної методики дослідження геотехнічних та гідрогеологічних систем досить поверхово розглянуті і дуже мало вивчені. Звісно багато вчених які безпосередньо стикаються з геологією чи гідрогеологією підіймали або підіймають нагальність питання дослідження геотехнічних та гідрогеологічних систем, але як показує практика, ці питання досі мало вивчені та потребують удосконалення. А враховуючи розвиток технологій з кожним роком, дані дослідження можуть бути більш поглиблені та інформативні. Що дасть змогу наступним поколінням науковців ще краще зрозуміти навколишнє середовище і як краще з ним співіснувати.

Література

1. Немец К. А. Інформаційна взаємодія природних і соціальних систем: монографія / К. А. Немец. Харків, Східний регіональний центр гуманітарно-освітніх ініціатив. 2005, 428 с.
2. Хакен Г. Синергетика: Ієрархія нестабільностей у самоорганізованих системах і пристроях / Г. Хакен. М., Світ, 1985, 424 с.
3. В'ячеслав Єгупов і Генадій Стрижельчик. «Стійкість ресурсів гідрогеосфери до антропогенних впливів з урбанізацією». Досягнення в геоетиці та управлінні підземними водами: теорія та практика сталого розвитку ICGRE 151-7. Матеріали 1-го Конгресу з геоетики та управління підземними водами (GEOETH&GWM'20), Порту, Португалія, 2020. Springer, 2021, стор. 267-271.
4. В.Ю. Єгупов, Г. Г. Стрижельчик, О. В. Кічаєва. «Методологія оцінки ресурсу стійкості еколого-геотехнічних систем урбанізованих і промислових територій», Матеріали 9-го Міжнародного конгресу з екологічної геотехніки 9ICEG 25-28 червня 2023 р. | Ханья,

Греція, ARGO-E GROUP, Афіни, Греція, том 4, стор. 459-467.

5. Кевін М. Хіскок та Бенс В.Ф. «Гідрогеологія: принципи та практика» 2014, 544 с.
6. В. Н. С. Мурті: «Геотехнічна інженерія: принципи та практика» 2002, 1048 с.
7. Браха М. Дас: «Основи геотехнічної інженерії». 1999, 637с.
8. Борзяк Ольга Сергіївна, Лютий Віталій Анатолійович, Романенко Олександр Валерійович: «Геотехнічні та геофізичні дослідження об'єктів» 2022, 101 с.
9. Нам-Хо Кім, Бхавані В. Санкар, Ашок В. Кумар «Введення в аналіз та проектування методом кінцевих елементів» 2018, 560 с.
10. Наливай А.Б.; Парк, Ю.; Парк, Т.С.; Гонг, Дж.К.; Хашім, М.; Ву, Дж.; Аюобі, І. «Регіональне геологічне картографування з використанням підходу дистанційного зондування на основі супутника в Північній Землі Вікторії, Антарктида» 2018, 23–46 ст.

References

1. Nemetz K. A. Information interaction of natural and social systems: monograph / K. A. Nemetz. Kharkiv, Eastern Regional Center for Humanitarian and Educational Initiatives, 2005, 428 p.
2. Haken G. Synergetics: Hierarchy of instabilities in self-organizing systems and devices / G. Haken. Moscow, Mir, 1985, 424 p.
3. Viacheslav Iegupov and Genadiy Strizhelchik. «Sustainability Resource of the Hydrogeosphere to Anthropogenic Impacts with Urbanization». Advances in Geoethics and Groundwater Management: Theory and Practice for an ICGRE 151-7 Sustainable Development. Proceedings of the 1st Congress on Geoethics and Groundwater Management (GEOETH&GWM'20), Porto, Portugal 2020. Springer, 2021, pp. 267-271.
4. V. Yu. Iegupov, G. G. Strizhelchik, O. V. Kichaeva. «Methodology for Assessing Sustainability Resource of Ecological and Geotechnical Systems of Urbanized and Industrial Territories», Proceedings of the 9ICEG 9th International Congress on Environmental Geotechnics 25-28 June, 2023 | Chania, Greece, ARGO-E GROUP, Athens, Greece, Volume 4, pp. 459-467.
5. Kevin M. Hiscock and Bense, V. F. «Hydrogeology: Principles and Practice» 2014, 544p.
6. V.N.S. Murthy: «Geotechnical Engineering: Principles and Practices» 2002, 1048p.
7. Braja M. Das: «Fundamentals of Geotechnical Engineering».1999, 637p.
8. Olga Serhiyivna Borzyak, Lyuty Vitaly Anatoliyovych, Oleksandr Valeriyovych Romanenko: «Geotechnical and Geophysical Site Investigations» 2022, 101 p.
9. Nam-Ho Kim, Bhavani V. Sankar, Ashok V. Kumar «Introduction to Finite Element Analysis and Design» 2018, 560 p.
10. Pour, A.B.; Park, Y.; Park, T.S.; Hong, J.K.; Hashim, M.; Woo, J.; Ayoobi, I. Regional geology mapping using satellite-based remote sensing approach in Northern Victoria Land, Antarctica. Polar Sci. 2018, 23–46 pp.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Шумаков І.В., Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна.

Автор: ЯВЄЛЯЄВ Арсен В'ячеславович
аспірант кафедри геотехніки, підземних споруд та
гідротехнічного будівництва
Харківський національний університет міського
господарства
імені О.М. Бекетова
E-mail – gavelaevarsen@gmail.com
ID ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6242-6590>

Автор: ЄГУПОВ В'ячеслав Юрійович
кандидат технічних наук, доцент кафедри
геотехніки, підземних споруд та гідротехнічного
будівництва
Харківський національний університет міського
господарства
імені О.М. Бекетова
E-mail – slavaegu@gmail.com
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5836-2659>

FUNDAMENTALS OF MODERN METHODS OF RESEARCH OF GEOTECHNICAL AND HYDROGEOLOGICAL SYSTEMS

Yaveliaev A.V., Iegupov V. Yu.

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

The article examines the development of a synergistic paradigm in the Earth sciences, in particular in geotechnics and engineering hydrogeology. It was determined that in the second half of the 20th century, as a result of changes in scientific methodology, there was a need to rethink linear approaches to the study of natural systems. Synergetics, as a science of interaction and self-organization of complex systems, became the basis for new scientific directions, in particular in the field of geosystems and hydrogeotechnical systems research. The work emphasizes the importance of introducing synergistic principles into geological and hydrogeological research, particularly in the context of dynamic processes, such as filtration in hydrogeosystems. It is shown that these processes, in particular in the regimes of hydrodynamic, hydrochemical and hydrothermal changes, have a non-linear nature and can be described by appropriate mathematical models. The work also covers the issue of the influence of climatic and anthropogenic factors on the state of groundwater and soil, which is important for the design of buildings and infrastructure in various regions. The mechanisms that affect the stability of hydrogeosystems, as well as their possible critical states, which can lead to turbulence or irreversible changes in the structures of water-bearing rocks, are considered separately. An important aspect is the human impact on these systems, which can be both directed and accidental, which emphasizes the need to consider synergistic effects to improve natural resource management and minimize negative environmental impacts. The article is aimed at highlighting the potential of synergy in the study of hydrogeotechnical systems and the need for its application in engineering and environmental protection practices. This information will be useful for engineers, geologists, hydrogeologists and students of relevant specialties, as well as for those engaged in research in the field of geotechnics and hydrogeology.

Keywords: Synergetics, geosystems and hydrogeotechnical, climatic and anthropogenic factors, protection practices.