

## **КОНЦЕПТУАЛЬНІ ОСНОВИ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗСУВНИХ ЯВИЩ НА ТЕХНОГЕННИХ ОБ'ЄКТАХ**

*Стаття базується на аналізі небезпечних екзогенних процесів на техногенних об'єктах різного рівня, складанні прогнозів виникнення та поширення зсувів, розробці алгоритму інженерно-геологічного прогнозування.*

**Ключові слова:** *схил, стійкість, зсув, прогноз.*

**Вступ.** Схили є невід'ємними елементами всіх форм рельєфу, які найбільш повно виражають властивості і стан земної кори. Схили – найбільш динамічні ділянки земної поверхні, на яких постійно проявляється нівелюючий ефект сили гравітації. У наш час будівництво все більше орієнтується на використання крутих схилів та на освоєння гірськоскладчастих областей. Роботи на схилі створюють багато проблем, які пов'язані з необхідністю захисту об'єктів від руйнівного впливу стихійного прояву зсувів, обвалів та інших форм руху порід. У свою чергу будівельні роботи на схилах і прилеглих до них територіях, які не враховують повною мірою усіх особливостей геологічного середовища, призводять до порушення існуючого стану, знижують здатність схилів як системи до динамічного саморегулювання, спричиняють виникнення зсувів і обвалів.

**Матеріали та методи дослідження.** При вивченні питання стійкості схилів застосовувалися загальнонаукові підходи та відомі методики дослідження. Серед них праці Ємельянової Є.П., Демчишина М.Г., Кнорре Е., Телятника А.А та інших. Вони були вивчені на першому етапі роботи. На другому етапі було розроблено різні види прогнозів для різних типів схилів на території Українських Карпат. Було проведено імовірно-статистичний аналіз даних стаціонарних досліджень.

Не дивлячись на відносно невеликі площі схилів крутизною більше 12° в Українських Карпатах, вони є цікавими з точки зору їх освоєння з метою використання під будівництво. У зв'язку з обмеженим використанням під забудову орних земель найчастіше потрібно будувати на схилах, які донедавна були непридатні для використання. Це створює багато проблем, пов'язаних із захистом об'єктів, стабілізацією схилів, попередженням раптових переміщень природного матеріалу.

Будь-яка похила поверхня відносно нестійка і обмежений цією площиною масив характеризується певним запасом енергії, використання якої здійснюється в залежності від певного співвідношення діючих сил – гравітації та міцності порід масиву (рис. 1).

Задача попередження зсувів у зв'язку з порушенням існуючих умов техногенного втручання вирішується при розгляді схилу як елемента рельєфу, як природної відкритої саморегулювальної системи [1]. Таким чином, проблема зсувів на території впливу техногенних об'єктів при їх спорудженні та експлуатації потребує негайного вирішення.

Результатом наших інженерно-геологічних робіт став прогноз. Оскільки об'єкт прогнозу відноситься до складних систем, то й сам прогноз є складною системою висновків. В якості підсистем цієї системи у нашому випадку виступили часткові прогнози: геологічної будови, гідрогеологічних умов, властивостей порід для різних етапів будівництва та експлуатації споруд. Елементами підсистеми прогнозу гідрогеологічних умов були рівень підземних вод в різні періоди часу, коефіцієнти фільтрації та ін.

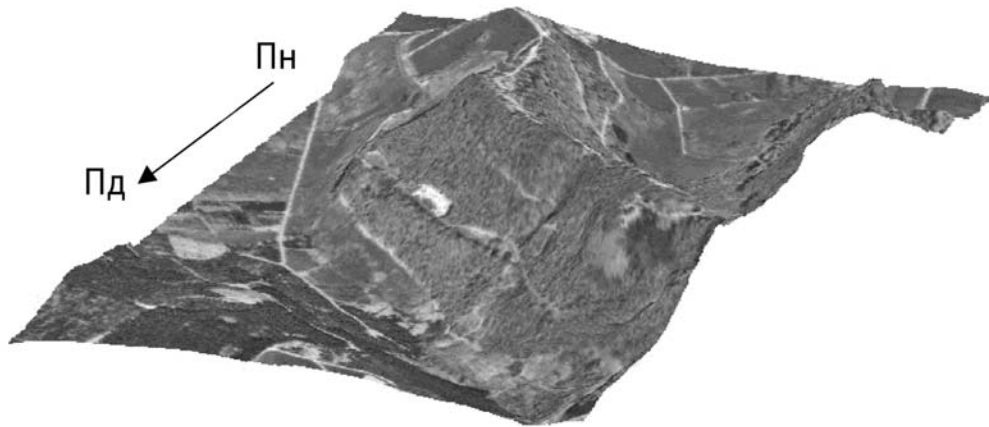


Рис. 1 – Просторова модель схилу.

Інженерно-геологічне прогнозування здійснювалося з метою передбачення результатів взаємного впливу сукупності компонентів природного середовища, які формують інженерно-геологічні умови, і зовнішнього впливу, який найчастіше виникає в результаті діяльності людини [2]. Системний характер інженерно-геологічного прогнозування виражається в тому, що він направлений на передбачення поведінки об'єкта прогнозу в цілому, з врахуванням основних факторів, які формують інженерно-геологічну обстановку.

У такому випадку нами пропонується створити алгоритм інженерно-геологічного прогнозування.

1. **Аналіз зовнішнього впливу** необхідно здійснювати на основі завдання на складення інженерно-геологічного прогнозу. Таке завдання повинно містити дані про основні характеристики зовнішнього впливу, вимоги до завчасності прогнозних оцінок, їх точності і форми представлення результатів прогнозування. У випадку вивчення інженерно-геологічних процесів виявлення зовнішнього впливу стає самостійною задачею, вирішення якої передуює власне прогнозуванню.

Опираючись на аналіз зовнішнього впливу, було намічено основні напрямки прогнозування і вибрано методи складання прогнозу. Це дозволило визначити обсяг необхідних для прогнозу матеріалів, способи їх одержання.

2. **Встановлення ієрархії** в інженерно-геологічній системі, числа її підсистем та елементів. Наведені операції пропонується здійснювати шляхом аналізу роботи зовнішнього впливу в конкретній природній обстановці, вони полягають в оцінці поширення впливу об'єкта, який здійснює цей вплив, на кожен з підсистем інженерно-геологічної системи.

3. **Визначення меж** інженерно-геологічної системи було здійснено шляхом даного зовнішнього впливу в певних природних умовах. У такому випадку розміри визначалися просторовим розміщенням в природних умовах, а також поширенням області впливу, і, як правило, вони були відносно невеликі. Однак доти, поки параметри зовнішнього впливу не були встановлені, доводилося розглядати об'єми геологічного простору, які значно перевищували області зовнішнього впливу (характерно на початкових стадіях досліджень). Тому розміри як інженерно-геологічної системи, так і всіх її підсистем, залежали від стадій досліджень, зменшуючись в міру деталізації проектних заходів і все більше наближаючись до розмірів меж області зовнішнього впливу. Як правило, інженерно-геологічна система співпадає за своїми розмірами з найбільшою таксономічною одиницею інженерно-геологічного

районування, виконаного на даній стадії досліджень. При цьому система повинна була обов'язково охоплювати області розвитку несприятливих для зовнішнього впливу і самої системи процесів (просідання, фільтрація тощо). Варто також пам'ятати, що межі системи суттєво залежать від характеру зовнішнього впливу.

4. **З'ясування значущості** окремих підсистем, які входять до складу інженерно-геологічної системи. Значущість тієї чи іншої підсистеми залежала головним чином від її впливу на об'єкт, який формує зовнішній вплив, або, навпаки, від такого об'єкта на підсистему. Значущість встановлювалася на основі законів відповідності взаємозумовленості шляхом аналізу взаємозв'язку і взаємовпливу підсистем при конкретному зовнішньому впливі. При сильному зв'язку вплив на одну підсистему одразу ж передається й на інші підсистеми. Якщо ж зв'язки є не надто сильними, то інші підсистеми реагують із запізненням. Так, підйом рівня підземних вод, який зумовлює зміну характеристик порід схилу, може дуже швидко викликати зсув. Вирубка рослинності, яка призводить до зміни регуляції поверхневого стоку, здійснює вплив на стійкість схилу тільки через деякий час, іноді дуже тривалий.

5. **Прогнозування роботи кожної з підсистем** з врахуванням їх взаємного впливу, характеру і швидкості реакції на зовнішній вплив. Варто відмітити, що таке прогнозування можливо здійснити з позиції інженерно-геологічної системи в цілому.

6. **Прогнозування роботи інженерно-геологічної системи** було здійснено, виходячи з прогнозу роботи всіх значущих підсистем.

7. **Верифікація прогнозу** стала завершальним етапом прогнозування.

Ведучи мову про прогнозування зсувів, варто зазначити, що в нашому випадку воно представляло собою визначення імовірності порушення схилів, яке базувалося на аналізі ряду геологічних, гідрогеологічних, геометричних, геоморфологічних, метеорологічних та інших природних факторах. Альтернативним терміном став ризик зсуву.

У результаті аналізу сукупності ознак було встановлено ймовірність виникнення зсувів в різних ділянках досліджуваної території. Отримані результати ми представили у вигляді карт, які називаються картами просторового прогнозу зсувів або картами стійкості схилів, або картами ризиків зсуву (рис. 2). Стає зрозумілим, що така інформація є корисною для практичного застосування, оскільки дозволяє спрямувати будівництво, зменшити збитки від зсувів тощо.

На сьогодні розроблена значна кількість методів прогнозу зсувів, які базуються на різних принципах і мають різну інформаційну ємність.

Вирішення проблеми прогнозування можливе лише за умови стадійного підходу і комплексного застосування різних методів. Зміст і застосування прогнозу, і відповідно вибір раціонального комплексу методів повинні визначатися з врахуванням вимог щодо вивчення інженерно-геологічних умов, які вирішуються на різних етапах господарського освоєння територій. Оптимізація інженерно-геологічного прогнозування може бути досягнута тільки при чіткому визначенні можливостей окремих методів та впорядкуванні умов їх застосування.

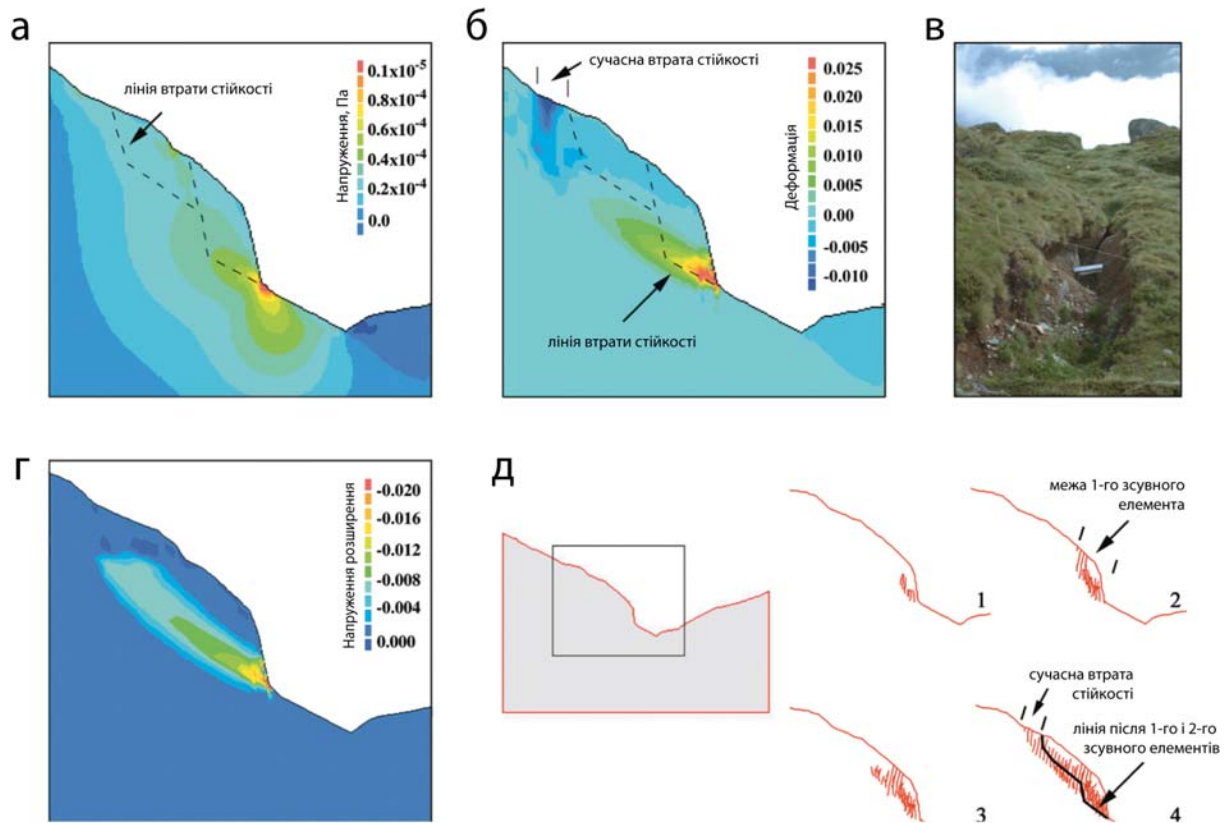


Рис. 2 – Дослідження прогнозованої ділянки зсувного тіла: а – початкова стадія концентрації навантаження біля підніжжя схилу; б – прогнозовані контури, які приймають навантаження і пом'якшують модель; в – сучасний стан, глибоко відкриті тріщини напруг вище по схилу; г – напруга при геометричних вимірюваннях; д – кінцева модель-гібрид злому дискретного елемента при прогресивному розвитку поверхні схилу.

Реалізація регіональних прогнозів при довготривалому і завчасному прогнозуванні передбачається протягом всього часу будівництва споруди. Конкретні моменти прояву певних подій в розвитку зсувів встановлюються при локальних прогнозах. Якщо вважати основною метою інженерно-геологічних прогнозів визначення ступеня небезпеки зсувних деформацій для господарських об'єктів, то прогнозування часу виникнення і розвитку зсувів є недоцільним.

Нами рекомендується на початкових стадіях проектування заходів до господарського освоєння території інженерно-геологічне обґрунтування принципового технічного рішення і рекомендації щодо вибору оптимального варіанта комплексів споруд та їх розміщення. Основною задачею прогнозу на цих стадіях є оцінка ймовірності виникнення і області розвитку зсувних процесів. Характер цієї задачі типово імовірнісний, за просторовими умовами необхідна регіональна загальна прогнозна оцінка, за строками реалізації потрібні довготривалі й завчасні прогнози.

Для вирішення цієї задачі нами було використано методи прогнозного картування й аналогій. Проте поза цим існує розроблений ряд методів, які базуються на імовірнісній оцінці схильності територій до впливів зсувних процесів. Відмінність полягає у використанні математичного апарату. Поряд з принциповою різницею математичної моделі, даний спосіб дозволяє використовувати інформацію, яка

отримана безпосередньо в процесі комплексних геологічних досліджень. Усі методи цієї групи є універсальними, тобто можуть бути використані для імовірнісного прогнозування зсувів у будь-яких геологічних умовах.

При виконанні проектних розробок на II стадії технічного проектування наші дослідження мали на меті виявлення інженерно-геологічних умов конкретних споруд та прогноз їх змін в будівельно-експлуатаційний період. Задача прогнозу на цьому етапі полягала у визначенні ходу розвитку зсувних процесів в часі та інтенсивності.

У результаті виконання вказаних просторово-часових прогнозів і подальших проектних розробок було визначено локальні ділянки території, які потребують більш детального прогнозу можливих зсувних деформацій.

Локальні завчасні прогнози розвитку зсувів в часі можуть бути здійснені шляхом моделювання еквівалентними матеріалами й імовірно-статистичними методами аналізу даних стаціонарних досліджень (рис. 3). Моделювання цим методом дозволяє встановити режим зміни стану зсувного схилу в часі, прогнозувати умови виникнення і динаміку зсувних деформацій. Моделювання еквівалентними матеріалами використовується найчастіше на стадії робочого проектування і будівельно-експлуатаційному етапі.

Імовірно-статистичний аналіз даних стаціонарних досліджень дозволив оцінити режим стійкості схилів і тому був використаний для перевірки результатів прогнозування на моделях еквівалентних матеріалів [6].

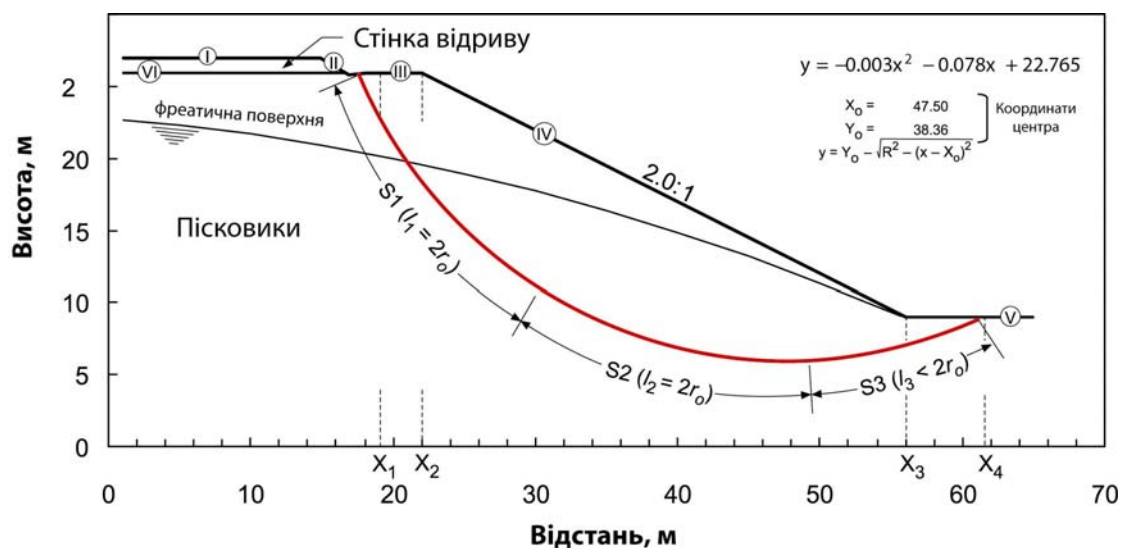


Рис. 3 – Модель визначення площини ковзання модельного схилу.

Результатом опрацювання розрахункових даних стало узагальнення методик прогнозування на гірських схилах. У період будівництва і експлуатації споруд нами рекомендується виявити режим і прогноз змін окремих компонентів інженерно-геологічної обстановки під впливом комплексу природних та техногенних факторів. Задача прогнозу при цьому полягає у визначенні часу активізації, кінематичних та просторових характеристик процесу. На цій стадії пропонується перевірка можливості виникнення нових зсувів у залежності від метеорологічних та гідрогеологічних прогнозів зі складанням уточнених прогнозних карт районування. Локальні методи сучасного і оперативного прогнозу можуть бути представлені такими методами: фізичного і математичного моделювання, передвісниками і оперативним статистичним

контролем результатів довготривалих стаціонарних досліджень, а також розрахунковими методами оцінки швидкості зміщення зсувних мас на схилі.

У випадку необхідності вірогідного сучасного і оперативного прогнозу виникнення чи активізації зсувного процесу найчастіше застосовується детермінований математичний апарат [3]. Поряд з цим використовують також імовірнісний підхід і статистичні оцінки для правильного визначення стійкості схилів, які складені скельними породами [5].

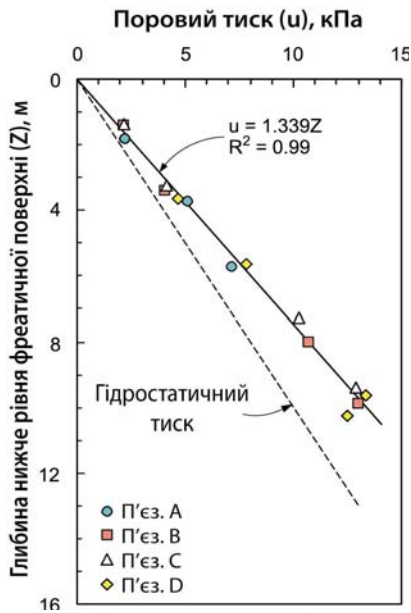


Рис. 4 – Взаємозв'язок порового тиску з глибиною залягання фреатичної поверхні.

(проекування-будівництво-експлуатація), по-друге, економічними міркуваннями, які лягли в основу планування народного господарства, по-третє, послідовністю надходження необхідної інформації – від загальних регіональних оцінок обстановки до детальних даних про інженерно-геологічні умови та їх компоненти на локальних ділянках будівництва.

Порушення встановленої послідовності прогнозних рішень, які нерідко виникають при бажанні прискорити процес прогнозування, практично завжди позначаються на повноті й якості прогнозної інформації, що призводить до великих труднощів при проведенні заходів щодо господарського освоєння та подорожчання його вартості.

Критерієм правильності прогнозів є відповідність очікуваних та реальних результатів зсувних процесів. Оскільки подібна оцінка не завжди є можливою, надійність прогнозу може бути перевірена ідентичністю результатів, які отримані різними методами. Така взаємоперевірка (верифікація) прогнозу рекомендується на всіх стадіях робіт і являє собою обов'язкову операцію у загальній процедурі прогнозування зсувів. Кінцевий набір методів прогнозування у межах досліджуваного району встановлюється за результатами верифікації на одній з ділянок освоєння у початковий період досліджень. При однаковості отриманих результатів прогнозних даних перевага надається найбільш економічному методу.

Подальші перспективи оптимізації прогнозування зсувів представляються у вигляді детальних рекомендацій для застосування окремих методів та їх комбінації для вирішення різних прогнозних задач. У залежності від поставлених прогнозних

характеристик повинні бути співставлені та оцінені альтернативні методи, визначені умови спільного використання доповнюючих методів. Виникає необхідність розробити методичне керівництво для прогнозування зсувів саме на техногенних об'єктах різного рівня складності, які пропонується будувати у гірськоскладчастих областях.

**Висновки.** Використовуючи ряд методів для прогнозування стійкості схилів, було здійснено локальні прогнози на найбільш нестійких схилах та їх ділянок на території гірськоскладчастих зон Українських Карпат. Розроблено рекомендації для проведення подібного роду прогнозів при господарському освоєнні та проектуванні запобіжних протизсувних заходів. Правильне застосування математичного апарату дозволить визначити ймовірність того, що величина коефіцієнту стійкості при певних техногенних навантаженнях не перевищить гранично допустимої для даного масиву гірських порід.

### Список літератури

1. Амброзяк М.В. Нові підходи до обстеження зсувонебезпечних ділянок // Тез. доп. Всеукраїнської наукової конференції студентів та аспірантів. – К.: НАУ, 2008. – с.85-86.
2. Котлов Ф.В. Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. – М., 1978. – 326 с.
3. Рудько Г.И., Губко Н.Д. Применение математического аппарата при прогнозировании оползней в глинистых отложениях Предкарпатья // Инженерная геология. – 1989. – №3. – с.132-134.
4. Hutchinson, J.N. Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology, in Landslides, – Rotterdam, 1988. – S. 3-35.
5. McDougall, S., and Hungr, O. A model for the analysis of rapid landslide motion across three-dimensional terrain. – Canadian Geotechnical Journal, 2004. – № 41(6). – SS. 1084–1097
6. Raetz, H. & Lateltin, O. Massenbewegungen: Rutschungen, Fels- und Bergstürze. Extremereignisse und Klimaänderung. – Zürich, 2003. – 128 s.

#### **Концептуальные основы прогнозирования оползневых явлений на техногенных объектах.**

**Амброзяк Н.В., Адаменко Я.О.**

*Статья базируется на анализе опасных экзогенных процессов на техногенных объектах разных уровней, составлении прогнозов образования и распространения оползней, разработке алгоритма инженерно-геологического прогнозирования.*

*Ключевые слова:* склон, устойчивость, оползень, прогноз.

#### **Conceptual bases of forecasting landslide on technological objects.**

**Ambroziak M., Adamenko Y.**

*This article is based on analysis of dangerous exogenous processes on technological objects of different levels, making forecasts of appearing and spreading landslides and development of engineering-geological forecasting algorithm.*

*Keywords:* slope, stability, landslide, forecasting.