

**МЕТОДИКА ПРОГНОЗУ ПАРАМЕТРІВ ЗСУВНИХ ЗМІЩЕНЬ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ
НА ОСНОВІ КІНЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ**

У статті викладена методика прогнозу параметрів зміщень земної поверхні з врахуванням форми і умов залягання порід і кількості атмосферних опадів для визначення ділянок інтенсивних зміщень.

Вступ. Поширення зсувів і характер зсувного процесу визначаються комплексом інженерно-геологічних і кліматичних умов місцевості. Зокрема для міста Дніпропетровська, побудованого на пагорбах-вододілах, складених лесовими суглинками, що оголюються на схилах більш ніж в 10 балок і ярів, які піддані зсувним явищам і не мають інженерного захисту. Проблема забезпечення їх стійкості має велике соціальне і народногосподарське значення.

Райони схилів із зсувними ділянками особливо складні для будівництва. Проектування протизсувних заходів ґрунтується на аналізі причин зміщення земляних мас, розрахунку стійкості схилів протягом часу. При будівництві на незміщеному схилі виконують розрахунок стійкості схилу, що зводиться до визначення найбільш небезпечної поверхні ковзання і виходу її на поверхню.

Проектування протизсувних заходів повинно ґрунтуватися на аналізі причин зміщення земляних мас і розрахунку стійкості схилів. При будівництві на незміщеному схилі необхідно виконувати розрахунок стійкості схилу, що зводиться до визначення найбільш небезпечної поверхні ковзання і виходу її на поверхню.

Прогноз параметрів зсувних процесів має важливе значення, оскільки збитки від руйнування зсувами будівель і споруд можуть бути дуже великими.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Методи прогнозу зсувів тісно зв'язані з методами оцінки стійкості схилів та елементів будівель і споруд, розташованих на ній протягом часу. Питанням зсувоутворення, що відбуваються як у великих містах, так і при відкритій розробці родовищ, присвячено багато досліджень. Розроблені методи розрахунку стійкості бортів кар'єрів, уступів і природних схилів. Відомо більше 300 методів і прийомів розрахунку стійкості природних і техногенних об'єктів.

Порушення стійкості схилів часто виявляються у формі зсувів і обвалів. Тільки маючи характеристику стійкості схилу в даний час і передбачаючи її майбутню зміну, можна пророчити розвиток зсуву на даному схилі.

Так, наприклад, в роботі [1] розглянуті теоретичні основи порівняльного методу для оцінки стійкості схилів і прогнозу зсувів, обґрунтовано графічний метод порівняльної оцінки стійкості схилів. Пропонований метод ґрунтується на встановленні залежності між основними характеристиками схилів із їх різною геологічною будовою і різними видами порушення стійкості. В результаті порівняльного методу слідує, що для прогнозу виникнення зсувного процесу необхідно знати:

- яка стійкість схилу в даний час;
- чи можуть і при яких умовах процеси, що впливають на схил або проєктовані в зоні схилу зміни, довести його стійкість до граничного стану.

Більшість методів розрахунку стійкості схилів і укосів ґрунтуються на випадках, коли поверхня ковзання прийнята за площину, за поверхню круглого циліндра чи за поверхню будь-якого окреслення, якщо воно відоме [2].

Якщо поверхня можливого зсуву відома, наприклад, визначена геологічною структурою схилу і не може бути прийнята за площину або поверхню круглого циліндра, то розрахунок стійкості масиву доцільно вести методом багатокутників сил. В основі розрахунку зберігається гіпотеза затверділого тіла. Метод «зсувного тиску», дає наочне представлення про розподіл напруги в укосі [3].

Метод врахування розподілу тиску по бічній поверхні відсіків дозволяє оцінити стійкість укосів, які складаються з декількох уступів, наведений в роботі [4].

Порушення стійкості укосів у багатьох випадках відбувається по довільній лінії зрушення. Для аналізу таких випадків використовується метод сил.

Перевага методів відсіків, які наведені в роботах [5, 6] у тім, що вони статистично точні, тобто задовольняють всім умовам рівноваги.

Зазначені вище методи розрахунку оцінки стійкості природних схилів, бортів кар'єрів і уступів стосуються розрахунків лише розрізів, які виконані в одній або декількох площинах масиву, що зрушується. Вони не враховують одночасно взаємний вплив таких факторів, як форма і умови залягання порід схилу (геометричні параметри будови схилу), параметри зсувного процесу на різних ділянках його поверхні (кінематичні характеристики зміщень) і кліматичні умови (атмосферні опади).

Таким чином встановлення взаємозв'язку між просторовими зміщеннями точок об'єкта, атмосферними опадами і геометричними параметрами будови об'єкта по площі, дозволяє не тільки виявити основні фактори, що формують розвиток зсувів, але спрогнозувати *кінематичні характеристики зсувних зміщень*.

Мета роботи. Метою даної роботи є розробка методики прогнозу параметрів зсувних зміщень з врахуванням інженерно-геологічних елементів будови об'єкта, на основі геодезичних спостережень і визначення границь передбачуваних інтенсивних зміщень.

Досягнення поставленої мети можливе тільки при правильному виборі і здійсненні раціонального проекту спеціальних станцій натурних спостережень і відповідної методики спостережень [7].

Викладення основного матеріалу. Натурні інструментальні геодезичні спостереження за зсувними зміщеннями є частиною режимних спостережень при вивченні розвитку і прогнозу зсувних процесів, перевага яких полягає в можливості одержати величини абсолютних зміщень зсувів. Вони застосовуються для оцінки динаміки поверхні схилів, деформації поверхні, стійкості і ефективності протизсувних споруд.

В інтерпретації з погляду інженерної геодинаміки, переходячи до координат якої-небудь точки поверхні схилу, відстань l , пройдена точкою за проміжок часу $\Delta t = t_2 - t_1$ дорівнює:

$$l = \sqrt{[x(t_2) - x(t_1)]^2 + [y(t_2) - y(t_1)]^2 + [z(t_2) - z(t_1)]^2},$$

де $x(t_1)$, $y(t_1)$, $z(t_1)$ – координати деякої точки схилу в момент часу t_1 , $x(t_2)$, $y(t_2)$, $z(t_2)$ – координати тієї ж точки в момент часу t_2 [9].

Результати геодезичних спостережень дають можливість виявити основні закономірності просторово-часових змін параметрів зсувів. У більшості випадків зсув схилів являє собою тривалий процес.

Для одержання достовірної інформації про зміщення зсувів велику роль відіграє вибір місця закладення опорних (стабільних) і зсувних (рухливих) точок, а також вибір методики геодезичних спостережень.

В залежності від необхідної точності визначення розмірів зсуву, рельєфу, ситуації місцевості, а також наявності тих або інших геодезичних приладів вибирається метод вимірів.

Натурні геодезичні методи спостережень за зміщеннями зсувів визначають положення точки на горизонтальній і вертикальній площинах або в просторі. Виміри горизонтальних і вертикальних зміщень пунктів, встановлених на зсувах, відносяться до розряду точних геодезичних робіт.

До основних кінематичних характеристик зміщень (параметри зсувних зміщень), що обчислюються між двома циклами вимірів, відносять: прирости зміщень у напрямку кожної з осей координат; повна величина горизонтальних, вертикальних зміщень і в просторі; швидкість зміщень по горизонтальному, вертикальному напрямку, дирекційний кут вектора горизонтального зміщення і кут нахилу траєкторії зміщення точки у просторі.

На основі кінематичних характеристик зсувних зміщень можна розв'язати наступні задачі:

- виявити зсувонебезпечні ділянки з активним розвитком зсувного процесу та їх границі;
- визначити границі максимальних зміщень, їх швидкість і напрямок, об'єм земляних мас, що зміщаються протягом часу;
- вибрати методи прогнозу і визначити прогнозні параметри зсувних зміщень при очікуваних геометричних параметрах інженерно-геологічної будови об'єкта.

Розв'язання цих задач дає можливість розглянути локальні прогнози, що є складовою частиною просторово-тимчасового прогнозу розвитку зсувів.

При вивченні зсувних процесів поряд з умовами і формою залягання порід, параметрами зсувного процесу та їх графічними зображеннями встановлюють взаємозв'язок між кінематичними характеристиками зміщень, кількістю атмосферних опадів і геометричними параметрами інженерно-геологічної будови об'єкта. Це є важливим при встановленні ефективності протизсувних заходів та їх проектуванні.

На підставі зазначеного вище слідує, що станції спостережень необхідно створювати так, щоб вони відповідали характеру місцевості, інженерно-геологічним умовам і забезпечували можливість створення кінематичної моделі, що встановлює взаємозв'язки між параметрами зрушення масиву і параметрами його будови [7].

Кінематична модель зсувного процесу в комплексі відображає просторове положення масиву, що зсувається, та геометричні параметри інженерно-геологічної будови його і має такий узагальнений вигляд:

$$F(X_i, Y_i, Z_i, t_i) = f(G_i; K_i),$$

де $F(X_i, Y_i, Z_i, t_i)$ – положення зсувного масиву в просторі і часі; G_i – геометричні параметри інженерно-геологічної будови схилу; K_i – параметри зсувного процесу. Для встановлення взаємозв'язку

між параметрами зрушення масиву і параметрами його будови застосовують математичні моделі, засновані на апараті теорії імовірності і математичної статистики.

Геометричні параметри інженерно-геологічних елементів, що характеризують форму і умови залягання порід будови схилів, такі як кути нахилу покрівлі водотривкого шару і водоносного горизонту, глибина водоносного горизонту і водотривкого шару, потужність водоносного горизонту тощо, мають різні значення на різних ділянках площі масиву. Вони неоднаково корелюють з такими показниками, як атмосферні опади, точки об'єкта мають різні значення кінематичних характеристик зміщень і тому ділянки поверхні об'єкта мають різні показники параметрів зсувів.

Кліматичні умови відносяться до основних факторів, що змінюються. У зсувному процесі підвищена кількість атмосферних опадів і режим їх випадання сприяють порушенню стійкості схилів.

За кількістю атмосферних опадів на території м. Дніпропетровська спостерігаються три періоди їх інтенсивності: *зимово-весняні, літньо-осінні, осінньо-зимові.*

Найбільша середньомісячна кількість опадів на території міста за двадцятилітній період (1983 – 2003 рр.) зафіксована за перше десятиліття в липні, серпні 1984 р., у лютому, червні і липні 1985 р., у липні, вересні, грудні 1989 р. За друге десятиліття найбільше опадів випало в квітні і серпні 1995 р., у червні, серпні 1997 р.; у червні 2001 р. і у вересні 2002 р.; в січні і липні 2003 р. Інтенсивність атмосферних опадів у більшості випадках спричиняла в місті активізацію зсувних процесів.

Вертикальні і горизонтальні зміщення масиву істотно залежать від кількості атмосферних опадів. Ділянки з найбільш інтенсивними зміщеннями можна виділити при наявності даних інструментальних спостережень за зміщеннями точок, інженерно-геологічної будови схилу і кількості атмосферних опадів.

Просторове варіювання зв'язків зміщень пунктів, розосереджених по масиві і атмосферних опадів, відбивають спеціальні, кореляційні плани взаємозв'язків [8]. Плани представляють ізолінії (ізокореляти) рівних коефіцієнтів кореляції, обчислені аналітично (рис. 1, 2). З кореляційних планів слідує, що найбільший вплив на зміщення пунктів мають атмосферні опади на тих ділянках, верхні шари яких представлені насипними ґрунтами і дренажні функції яких значно знижені в результаті господарської діяльності людини.

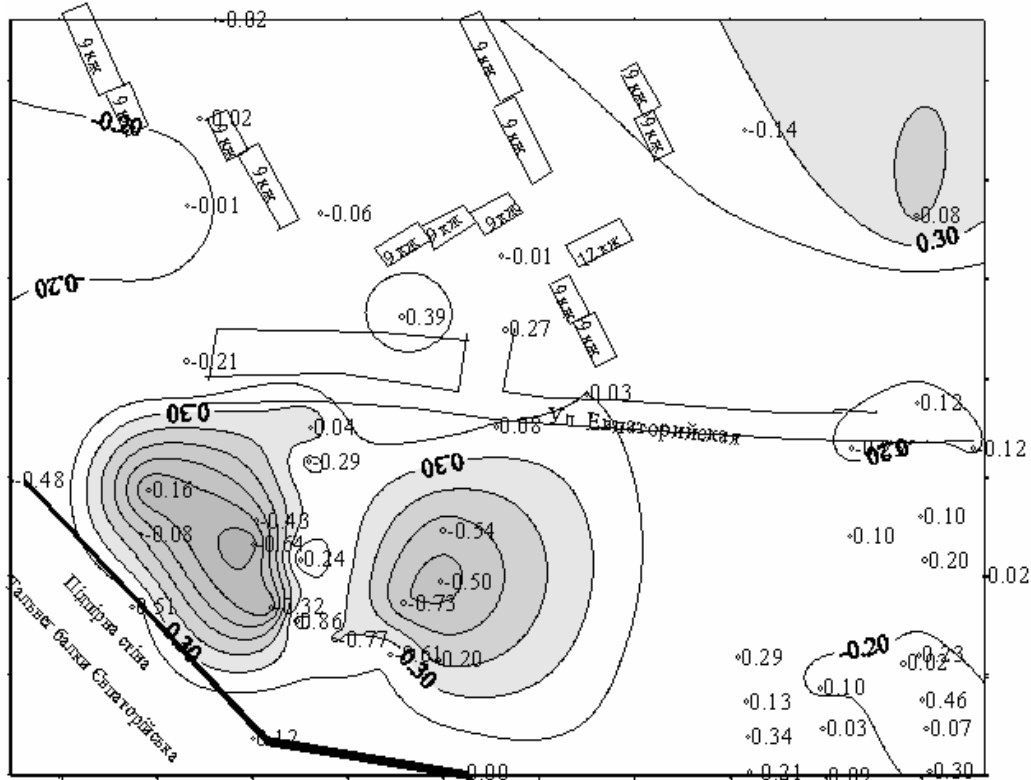


Рис. 1 Кореляційний план залежності горизонтальних зміщень від кількості атмосферних опадів на схилі крутизною 1,5 -11°

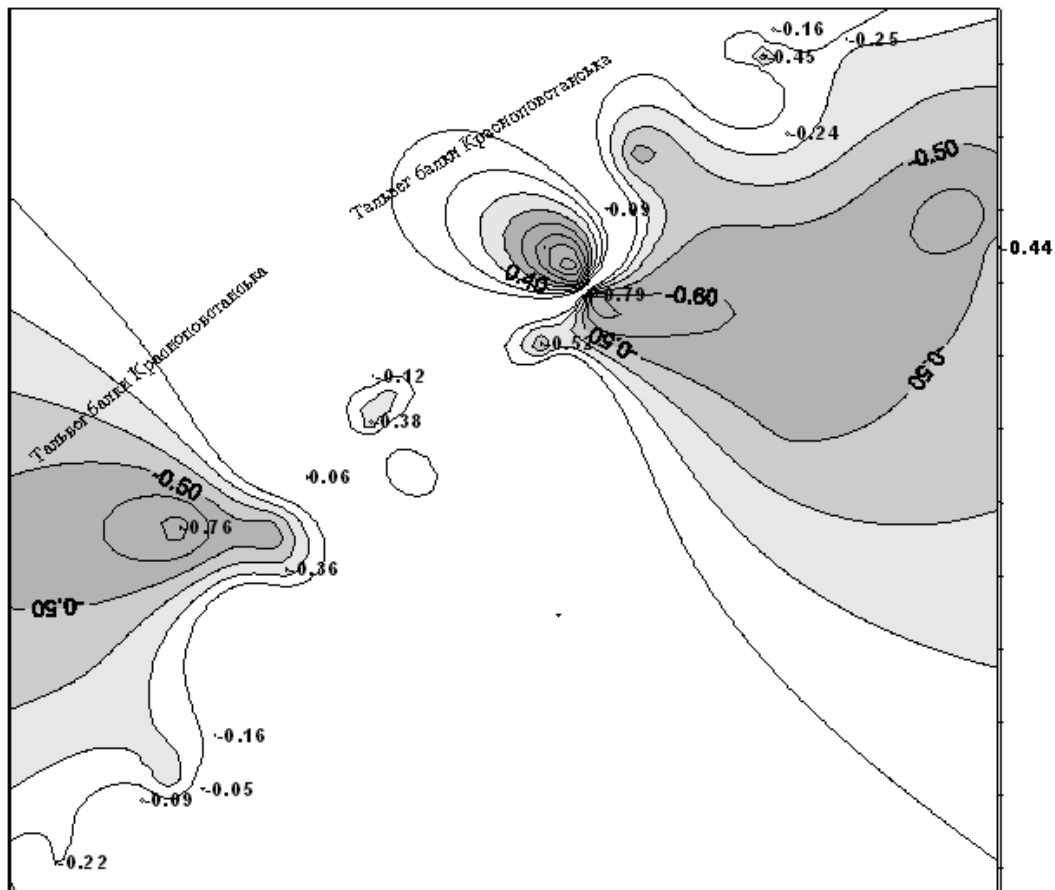


Рис. 2. Кореляційний план залежності вертикальних зміщень від кількості атмосферних опадів на схилі крутизною 3-20°

Таким чином, кореляційні плани становлять районування зсувних схилів на підставі коефіцієнтів кореляції між кінематичними характеристиками зміщень точок об'єкта і кількістю атмосферних опадів.

Взаємозв'язок між швидкістю горизонтальних і вертикальних зміщень і атмосферними опадами може бути представлений лінійною залежністю і рівняннями поліноміального ряду 2-го порядку. При параболічній кореляції зв'язок змінює знак на протилежний і перетворюється з прямого у зворотний і навпаки.

При геометризції зсувного процесу показниками для районування приймають зсувні зміщення і кількість атмосферних опадів. На їх основі виконують районування схилів, тобто поділ їх на ділянки з однаковими значеннями залежностей.

На підставі даних натурних інструментальних спостережень, інженерно-геологічної будови об'єкта виконують геометричний аналіз кінематичних характеристик зсувів і визначають статистичні параметри зсувного процесу. Таким чином в ході досліджень встановлюють закономірність між параметрами зсувного процесу, геометричними параметрами інженерно-геологічної будови об'єкта і кількістю атмосферних опадів.

Отриманий комплекс результатів просторово-часової зміни зсувів дозволяє не тільки виявити особливості і закономірність їх розвитку, але і скласти прогноз можливих зміщень для очікуваних параметрів геометрії будови об'єкта, застосовуючи математичні моделі, засновані на теорії імовірності і математичної статистики. Для зручності виконання розрахунків геометричні параметри інженерно-геологічної будови об'єкта розділяють по вимірності показників на кутові і лінійні [9]. В узагальненні зазначеного вище можна уявити структуру методики прогнозу зсувних процесів, яка ґрунтується на визначенні і встановленні взаємозв'язків між зміщеннями точок об'єкта, інженерно-геологічної будовою його і кількістю атмосферних опадів (рис. 3).

Прогноз очікуваних параметрів зсувних процесів при заданих геометричних параметрах інженерно-геологічної будови і кількості атмосферних опадів для даного регіону виконується в наступному порядку:

- по наявних інженерно-геологічних матеріалах вивчають фізико-географічні умови, геоморфологію, фізико-механічні властивості інженерно-геологічних елементів і кліматичні умови даного регіону;

– встановлюють відповідність об'єкта досліджень умовам методики прогнозування параметрів зсувних процесів. При наявності подібності визначають очікувані кінематичні характеристики зсувних зміщень при даних геометричних параметрах;

– виконують статистичну обробку геометричних параметрів інженерно-геологічних шарів по гіпсометричних планах. Кожній точці зображеного об'єкта з координатами x, y відповідає лише одне значення, z , і це дозволяє розглядати дані зображення як функцію $z = f(x, y)$, де z – значення показника параметра в i -тій точці, x, y – координати точки в будь-якій системі координат.

За основу всіх розрахунків і оцінок береться вибірка показників для ідентичних точок із графічних зображень в ізолініях на основі геометрично правильної сітки методом інтерполяції або випадково розташованих точок (точок спостереження);

– використовуючи систематичні чи випадкові вибірки точок, визначають парні коефіцієнти кореляції. Сполучення математично-статистичних і картографічних моделей при вивченні кореляції дозволяє не тільки підрахувати тісноту зв'язків для точок всього об'єкта, але і зобразити зміну цих зв'язків, на спеціальних планах (картах) кореляцій, які будуть характеризувати просторове співвідношення кінематичної моделі об'єкта. На підставі кореляційних планів виконують районування об'єктів, де виділяють місця можливих зміщень;

– значення параметрів точок кінематичної моделі об'єкта, розосереджених по всій його площі, отриманих по гіпсометричних і динамічних планах, представляють у вигляді гістограм, які показують загальний розподіл показників геометрії схилу і кількісних характеристик зсувних зміщень. По виду гістограми підбирають статистичну криву, описують її рівнянням і визначають закон розподілу;

– при наявності результатів геодезичних спостережень очікувані параметри зсувних зміщень визначають у взаємозв'язку від форми і умов залягання досліджуваного об'єкта;

– використовуючи поверхні інженерно-геологічних елементів об'єкта $z_i = f(x_i, y_i)$ і комп'ютерне моделювання, можна одержати об'єм порід об'єкта, що дозволить попередньо розрахувати стійкість схилу і визначити ефективні протизсувні заходи;

– визначають очікувані швидкості зміщень об'єкта, на основі багатофакторного аналізу, підставивши кутові і лінійні показники геометричних параметрів у рівняння математичних залежностей [9, табл. 4.17];

– визначають довірчий інтервал прогнозних значень за формулами:

$$(\bar{y}_p - \Delta \bar{y}_p; \bar{y}_p + \Delta \bar{y}_p)$$

де $\Delta \bar{y}_i = t_{ak} \frac{S}{\sqrt{n}} \cdot \sqrt{1 + (x_{1i} - \bar{x})^2 / D[x]}$, $(i = 1, \bar{n})x$ – показник геометричних параметрів; t_{ak} – коефіцієнт критерію Стьюдента з використанням статистики засобами Excel функцій СЕРЕДЗНАЧ ДИСПР. СТЬЮДРОЗПРОБР.

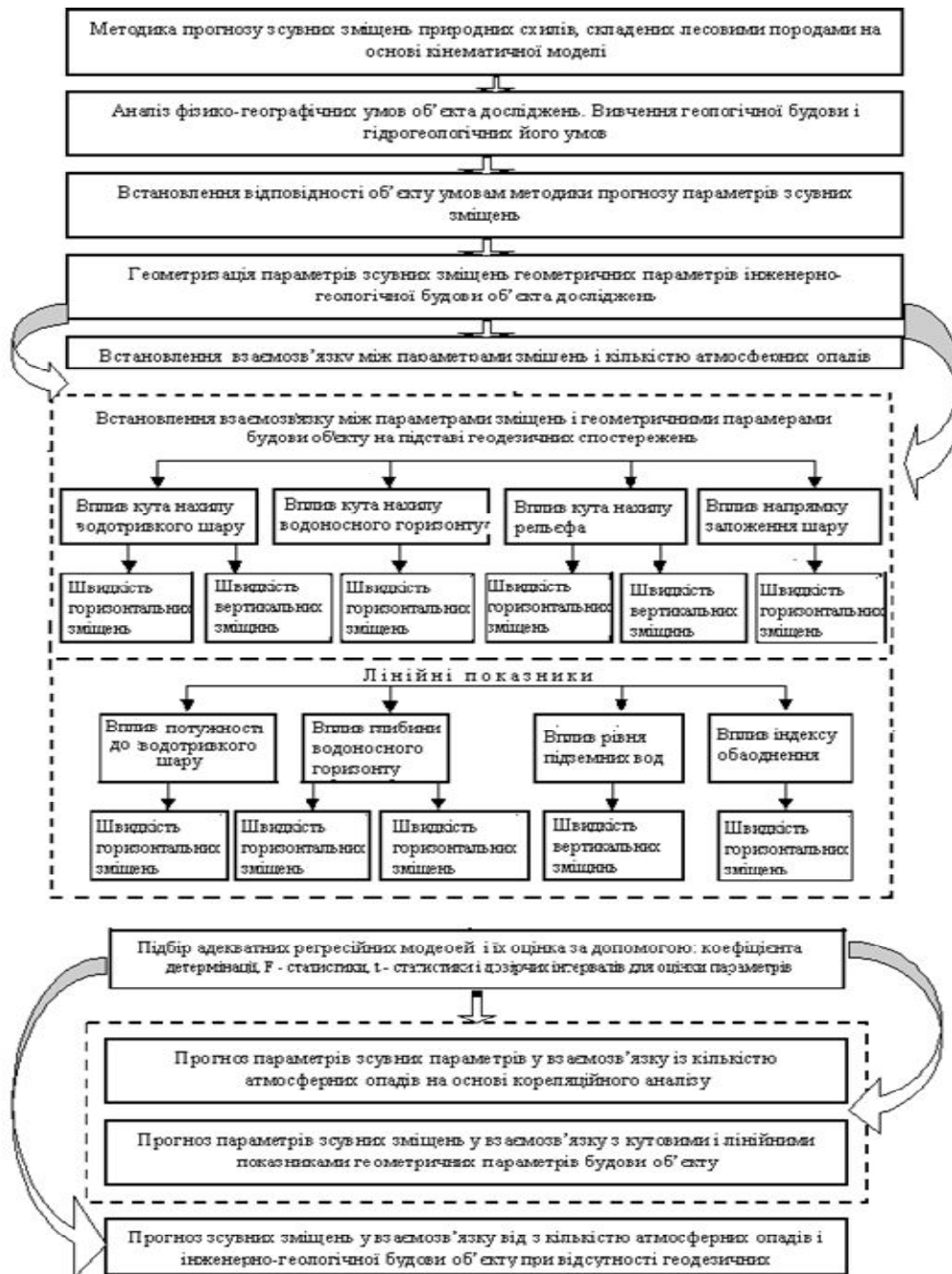


Рис. 3. Структурна схема методики прогнозу зсувних зміщень

Висновки. Викладена методика дозволяє прогнозувати параметри зміщень зсувів з урахуванням геометричних параметрів інженерно-геологічних елементів природних схилів, складених лесовими породами і кількості атмосферних опадів при наявності результатів геодезичних спостережень та їх відсутності. За допомогою прийнятого підходу виявляється можливим виявити ділянки з інтенсивним розвитком зміщень і встановити границі зсувонебезпечних об'єктів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Емельянова Е.П. Сравнительный метод оценки устойчивости склонов и прогноза оползней.– М.: Недра, 1971.– 104 с.
2. Шахуняц Г.М. К вопросу выбора рациональных методов расчета склонов. В кн.: Оползни и борьба с ними. – Ставропольское книжное изд-во, 1964. – С. 34–46.
3. Федоров И.В. Методы расчета устойчивости склонов и откосов. – М.: Госстройиздат, 1962.– 125 с.

4. Демин А.М. Проблемы контроля устойчивости приоткосных массивов и пути их решения //Горный журнал, 1997. – № 1. – С. 21–24.
5. Николашин Ю.М. Прогноз устойчивости откосов и управление состоянием бортов глубоких карьеров: Автореф. дис. д-ра. техн. наук: 05.15.01. /Днепропетровская горная академия.– Днепропетровск, 2000. – 34 с.
6. Голуб В.В. Обоснование метода расчета устойчивости бортов карьеров, формируемых в массиве горных пород сложной структуры: Дис. канд. техн. наук: 05.15.09 /Днепропетровский горный университет. – Днепропетровск, 2004.– 176 с.
7. Зуска А.В. Особенности построения наблюдательных станций на оползневых застроенных склонах //Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2004.– №12. – С. 8–11.
8. Зуска А.В. Четверик М.С. Районування зсувних схилів на основі планів ізокорелят зміщень, об'ємів, що зрушуються, і атмосферних опадів//Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2008.– № 3. – С. 49–56.
9. Зуска А. В. Обоснование параметров оползневых процессов естественных склонов на основе кинематической модели: Дисс. канд. техн. наук: 05.15.09 /Национальный горный университет. – Днепропетровск, 2007. – 166 с.

ЗУСКА Ада Василівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри геодезії Національного гірничого університету.

Наукові інтереси:

- геодезія;
- комп'ютерне моделювання.

8(056)373-07-20

Подано 12.11.2008

Зуска А.В. Методика прогнозу параметрів зсувних зміщень земної поверхні на основі кінематичної моделі

Зуска А.В. Методика прогноза параметров смещений земной поверхности на основе кинематической модели

Zuska A.V. Method of prognosis of parameters of displacements of earthly surface on the basis of kinematics model

УДК 624.131.543

Методика прогноза параметров смещений земной поверхности на основе кинематической модели / А.В. Зуска

Изложена методика прогноза параметров смещений земной поверхности, с учетом форм и условий залегания пород и количества атмосферных осадков.

УДК 624.131.543

Method of prognosis of parameters of displacements of earthly surface on the basis of kinematics model / A.V. Zuska

The technique of the forecast of parameters of displacement of a terrestrial surface, c by the account of the form both conditions of breeds and quantity of atmospheric precipitation is stated.