

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ РЕЖИМНОГО ЕКСПРЕС-АНАЛІЗУ ДО СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЗСУВНИХ МАСИВІВ

В.Г.Бурачек, д-р техн. наук, проф.,

А.С.Олінович, ст. викладач

(Університет новітніх технологій, м. Київ);

С.В. Кривоберець, викладач

(Чернігівський державний інститут економіки і управління)

Розглянуто інноваційні підходи режимного експрес-аналізу до системи контролю зсувних масивів. Проаналізовано геодезичні методи та інструменти, які використовуються для контролю положення точок на земній поверхні.

Рассмотрены инновационные подходы режимного экспресс-анализа к системе контроля оползневых массивов. Выполнен анализ геодезических методов и инструментов, которые используются для контроля положений точек на земной поверхности.

Discussed innovative approaches at the express analysis of landslide monitoring system. Analysis of geodetic techniques and tools that are used for monitoring the provisions of points on the Earth's surface.

Постановка проблеми. Активізація зсувних процесів на території України у деяких регіонах має руйнівний, а інколи катастрофічний характер. Тільки за останні роки від зсувів постраждали гірські райони Закарпатської області, прибережні масиви в Одеській та Миколаївській областях, численні об'єкти в Автономній Республіці Крим, будівлі в м. Дніпропетровську, Дніпродзержинську, Чернівцях, Луганську та багатьох інших населених пунктах, і їх кількість постійно зростає [1]. Це створює постійну загрозу виникнення надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру, а також небезпеку для здоров'я та життя людей.

Постановка завдання. Значне поширення зсувів на території України пояснюється її геологічною будовою та геоморфологічними умовами, що потребують поглибленого вивчення. З метою запобігання виникненню зсувів та їх поширенню необхідно здійснювати економічно та екологічно обґрунтовані протизсувні заходи перед початком господарського освоєння зсувонебезпечних

територій. Метою даної роботи є розробка системи контролю зсувних процесів, яка дозволить в автоматичному режимі реалізовувати моніторинг зсувних масивів.

Практика інженерно–геологічних досліджень прогнозування зсувних процесів у різних країнах має деяку специфіку. Так, наприклад, при інженерно–геологічному картографуванні в країнах СНД одним із найбільш поширених методів якісного прогнозу зсувів є застосування таких способів оцінки масивів гірських порід [2]:

- непрямий;
- інженерно–геологічних аналогій;
- типізації та експертних висновків;
- статистичний;
- натурне, лабораторне моделювання;
- інженерно–геологічна схематизація та обґрунтування математичної моделі;
- зворотні розрахунки;
- організація моніторингу екзогенних геодинамічних процесів.

Розрахунок стійкості схилу зводиться до визначення суми сил, які намагаються зрушити масив порід (ΣT), і суми сил, що чинять опір зрушенню (ΣR); це є, як відомо, сили зчіплювання і тертя. Як показник стійкості схилу використовується відношення $K_{cm} = (\Sigma R) / (\Sigma T)$, тобто відношення сил, що утримують масив у рівновазі, до сил, які намагаються викликати зрушення у схилі. При $K=1$ схил знаходиться у стані граничної рівноваги, при $K < 1$ схил перебуває в нестійкому стані, бо ΣR менше за ΣT , і навпаки.

Далі ми розглянемо умови стійкості деяких найтипівіших випадків геологічної будови схилу [3].

Схил складається з товщі чергованих глинястих та піщаних порід, похилених у бік схилу (рис. 1).

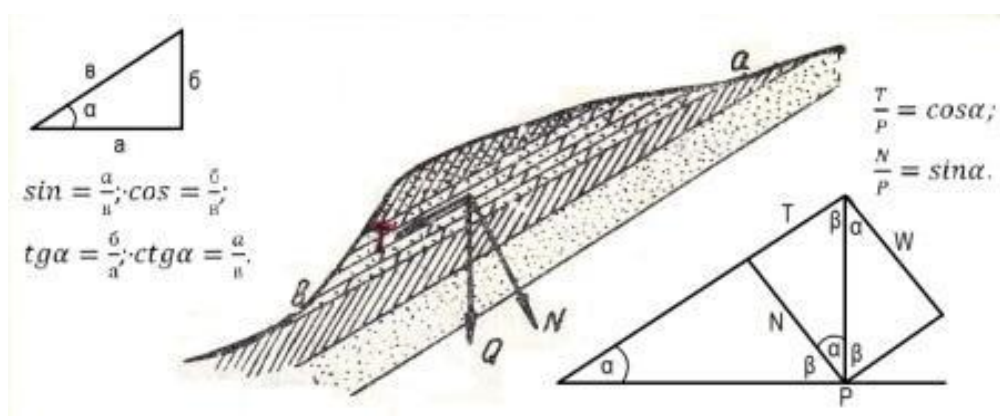


Рис. 1. Схема перевірного розрахунку стійкості схилу при похилому заляганні пластів

Умови стійкості схилу в даному разі подібні до умов рівноваги тіла, що лежить на похилій площині.

Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності

Щоб розрахувати стійкість масиву, розкладімо силу Q , яка виражає вагу масиву в шарі 1 м завширшки, на складові: нормальну N і паралельну до схилу T . Ці сили по-різному діють на масив: перша притискає його до укосу, а друга намагається зрушити його вздовж укосу вниз, чому заважають сили тертя і зчіплювання.

Умови стійкості схилу будуть:

$$T < N \operatorname{tg} \varphi + cL;$$

де $\operatorname{tg} \varphi$ — коефіцієнт внутрішнього тертя породи;

φ — називають кутом внутрішнього тертя;

c — величина зчіплювання в T на 1 м²;

L — довжина контакту сповзаючого масиву з поверхнею зсування (ab).

Величини коефіцієнта і кута внутрішнього тертя глинястих порід загалом малі і швидко зменшуються при підвищенні вологості порід, змінюючись, наприклад, від 0,4–0,5 (кут 20–25°) у глин та суглинків, що знаходяться в твердому стані, до 0,25–0,30 (кут 14–17°) у м'якопластичних глин та суглинків.

Схил, складений з однорідної глинястої зв'язної породи. Поверхня ковзання приймається за круглоциліндричну. Зсування масиву відбувається під впливом сили ваги, яку зобразимо прикладеною до центра ваги сповзаючого масиву у вигляді відрізка Q (рис. 2). Переміщенню масиву породи перешкоджає в даному разі сила зчіплювання; силою тертя, з огляду на її незначність, нехтуємо.

$$T = P \cos \alpha$$

$$N = P \sin \alpha$$

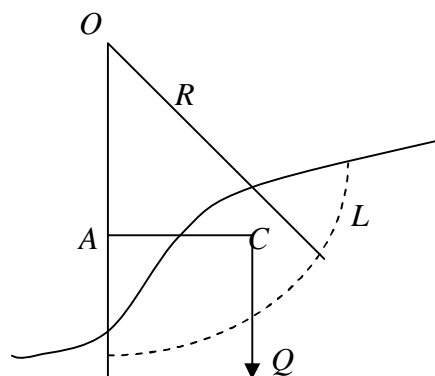


Рис. 2. Схема перевірного розрахунку ступеня стійкості схилу, складеного з однорідної пластичної глини, що має тільки зчіплювання

Довжину ковзання позначимо через L , причому ширину сповзаючого масиву для простоти розрахунку приймемо рівною 1 м. Якщо C являє собою середню силу зчіплювання по всій поверхні ковзання, то загальна сила зчіплювання виразиться через CL . З центра кривизни O проведімо вертикальну лінію і розглянемо

співвідношення сил. [3]

Моментом сили ваги буде добуток величини сили на плече, тобто $Q \cdot AC$. Моментом другої сили, яка перешкоджає зміщенню масиву, буде сила зчіплювання CL , помножена на плече, яким є радіус R . Звідси умова граничної рівноваги: $Q \cdot AC = CL \cdot R$.

Цілком очевидно, що збільшення сили ваги, наприклад, за рахунок зволоження схилу або за рахунок штучного навантаження на схил призведе до порушення стійкості схилу. Рівновага порушиться також при зменшенні сили зчіплювання під впливом надмірного зволоження порід.

Схил, складений з порід, що мають і зчіплювання, і тертя, тобто випадок, який найчастіше зустрічається на практиці. Поверхня ковзання приймається також за круглоциліндричну.

Щоб скласти рівняння стійкості схилу, сповзаючий масив розбивають вертикальними площинами на окремі призми (рис. 3).

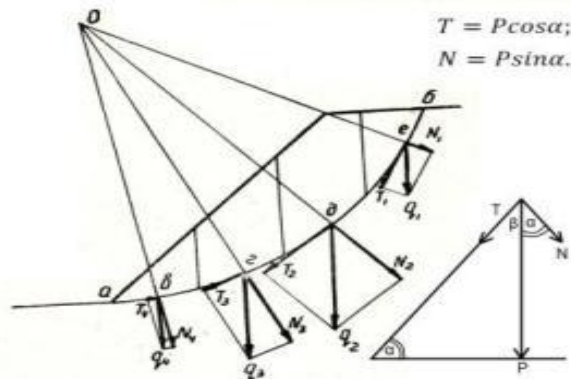


Рис.3. Схема перевірного розрахунку ступеня стійкості схилу з урахуванням сил тертя

Із точки O проводять радіуси до точок a, b, c, d, e , що знаходяться на середині кривої ковзання кожної призми. З цих точок відкладають вагу кожної призми g і сили, що її складають, N і T .

Умова рівноваги для кожної призми буде:

$$T = N \operatorname{tg} \varphi + cL,$$

де T — сила, що зрушує масив;

N — нормальне тиснення;

φ — кут внутрішнього тертя породи;

c — зчіплювання породи.

Тоді границя стійкості всього масиву виразиться рівнянням $\sum T = \sum N \operatorname{tg} \varphi + \sum cL$.

Це рівняння є рівнянням стійкої рівноваги схилу і показує, що при збільшенні

Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності

сил, які намагаються зрушити масив, він втрачає рівновагу і зсувається.

Ступінь стійкості схилу визначається коефіцієнтом стійкості:

$$K_{cm} = (\sum N \operatorname{tg} \varphi + \sum cL) / (\sum T),$$

що виражає відношення всіх сил, які утримують масив, до сил, що намагаються його зрушити. [3]

Очевидно, що при значенні $K_{cm}=1$ масив знаходитиметься в стані нестійкої (граничної) рівноваги, і тільки при $K_{cm}>1$ рівновага буде стійкою. При розрахунках зазвичай коефіцієнт стійкості приймають із запасом, рівним від 1,2 до 1,5.

Розрахунок, як видно, сам по собі досить простий, але певні утруднення становить визначення центра поверхні ковзання, що вимагає тривалого часу (методика подається в курсах механіки ґрунтів).

Такими є найпростіші способи перевірного розрахунку стійкості природних схилів. Проте для розв'язання питання про вибір найбільш економічної і найменш складної з технічного погляду схеми протизсувних заходів самої тільки оцінки стійкості схилу не досить. У цьому випадку є потреба побудувати профіль укосу, що знаходиться в стані рівноваги.

Найпростіший і водночас такий, що дає цілком задовільний збіг з реальними умовами, є спосіб, розроблений М. М. Масловим, названий ним методом рівномірного укосу (метод F_p).

Цей метод базується на уявленні автора, що кутом природного укосу для зв'язної породи є кут опору зрушенню даної породи φ , який визначається в лабораторії за допомогою приладів. Кут опору зрушенню залежить від навантаження, тому його треба визначати в лабораторії при тисках, рівних тискам вищерозташованих порід у кожній точці природного схилу. Звідси випливає, що укіс в стадії рівноваги матиме змінний кут за висотою. [3]

Виходячи з цих висновків, М.М. Маслов дає таку розрахункову формулу:

$$F_p = \operatorname{tg} \varphi + c/P,$$

де F_p — тангенс кута укосу, що знаходиться в стійкому стані, тобто

$$F_p = \operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \psi;$$

φ — кут внутрішнього тертя породи;

c — зчіплювання;

P — нормальний тиск, ототожнюваний з природним тисненням.

Побудова профілю стійкого укосу зводиться до таких операцій:

Укіс, починаючи від його підшви, ділиться на горизонтальні (рис. 4) смуги 1–

2 м завширшки, але не більше ніж 3 м. При черствуватій будові укусу межі між смугами проводять по лінії контакту шарів.

Визначається природне навантаження на підшву шару 1 за формулою $R_{пр} = h\rho_v$, де h — товщина всіх виділених на профілі горизонтальних смуг, рівна в даному випадку $h_1 = H$; ρ_v — середня об'ємна вага вологої породи цілої вищерозташованої товщі.

З точки перетину лінії укусу з підшвою першого шару (точка a) проводиться під кутом ψ_5 лінія до перетину її в точці b з підшвою шару 2. $\text{tg}\psi_5 = F_5$ визначається за допомогою приладів, причому тиск приймається рівним $R_{пр} = h_5\rho_v$.

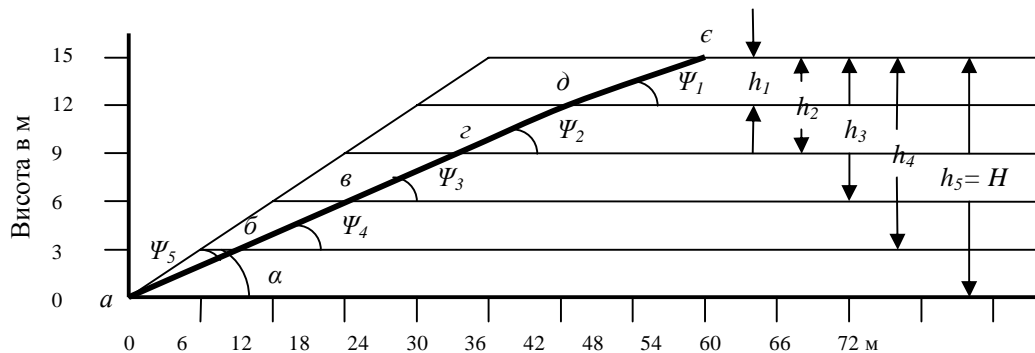


Рис. 4. Схема розрахунку стійкості укусу за методом рівномірного укусу

З точки b під кутом ψ_4 проводиться пряма до перетину її в точці v з підшвою шару 3. ψ_4 визначається тим самим способом, що й ψ_5 , але при тиску $R_{пр} = h_4\rho_v$, де h_4 — глибина, а ρ_v — середня об'ємна вага всіх шарів вологої породи, що знаходяться вище від підшви шару 2. Повторюючи цю побудову для точок v, z, d , отримаємо математично ламану лінію, що виходитиме на поверхню в точці e . Ця лінія й обмежує профіль стійкого укусу. Вся маса порід, що знаходиться над лінією $abvzde$, перебуватиме в нестійкому стані і має бути усунена. [3]

Для найнебезпечнішої точки a , де величина ψ_5 має мінімальне значення, визначається коефіцієнт запасу стійкості за формулою:

$$n = (\text{tg}\psi_5) / (\text{tg}\alpha),$$

де α — кут укусу.

Коефіцієнт запасу стійкості можна обчислити для будь-якої точки укусу.

Метод рівномірного укусу дозволяє побудувати профіль для будь-якого значення коефіцієнта запасу.

Таким чином, наведені методи розрахунку стійкості схилу мають математичне рішення, а ефективність їх використання визначається факціальними та просторовими умовами формування схилу.

Показники міцності ґрунтів, що приймаються в розрахунках, зазвичай

Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності

визначаються шляхом лабораторних випробувань зразків. Однак час навантажень у цих випробуваннях вимірюється у хвилинах, що є не порівнюваним із часом навантажень зсувних масивів, які діють протягом десятиліть. Один із можливих методів усунення цієї невідповідності належить М.М. Маслову[4].

Методика дослідження. Запропонована система належить до галузі геодезичного моніторингу зсувних територій. Відомі такі геодезичні методи та інструменти для контролю положення точок на земній поверхні: триангуляційні, трилатераційні, полігонометричні [5]. Такі системи мають високу точність, однак їх недоліком є відсутність оперативності вимірювань і великий об'єм ручних операцій [6].

У цьому аспекті більш ефективним є застосування для контролю зсувної системи GPS з повною автоматизацією дистанційних вимірювань [7].

Тут до недоліків слід віднести високу вартість імпортного обладнання, а також можливу наявність неконтрольованих атмосферних перешкод, які можуть впливати на точність вимірювань.

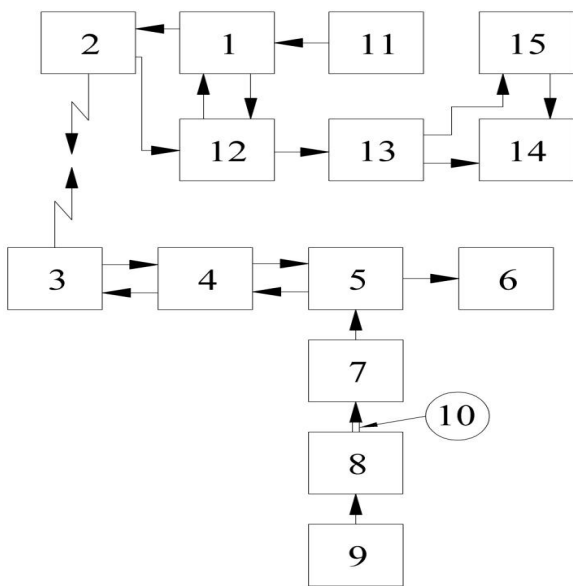
В якості аналогу, прийнятого за прототип, можна взяти геодезичну систему [8] із зворотними висками, що має подібні ознаки із запропонованою: наявність геодезичних знаків типу зворотного виска, з першопочатковою геодезичною прив'язкою контрольних точок на місцевості.

Недоліком такої системи є неможливість дистанційного слідування за положенням знаків у часі. Завданням винаходу є автоматизація оперативного контролю планового положення точок зсувних масивів з високою точністю.

Поставлена задача вирішується за рахунок створення системи контролю положення зсувних масивів, що містить зворотні виски на свердловинах із пристроями фіксації взаємного положення оголовків свердловини відносно власних висків, яка відрізняється тим, що в кожному оголовку свердловини зворотного виска на кронштейні жорстко встановлений оптико-електронний блок з фотоприймальною матрицею і негативною лінзою, а на поплавку зворотного виска встановлений лазерний блок, що формує тонкий світловий промінь, який співпадає з лінією нитки виска. Також система містить електронні блоки: центральний пульт управління (ЦПУ); прийомо-передавач ЦПУ; передавач зворотного виска; блок управління зворотного виска; блок обробки інформації; блок запису та зберігання інформації; блок обробки інформації ЦПУ; блок цифрового топографічного плану; блок динамічної індикації; блок запису і зберігання, при цьому виходи ЦПУ електрично пов'язані з входами прийомо-передавача ЦПУ і блоку обробки інформації ЦПУ, входи блоку електрично пов'язані з виходами програмного блоку і блоку обробки інформації ЦПУ; вихід прийомо-передавача ЦПУ електрично пов'язаних з входом блоку обробки інформації ЦПУ, вихід прийомо-передавача ЦПУ пов'язаний з передавачем зворотного виска дистанційно по радіоканалу; вихід передавача зворотного виска

електрично пов'язаний з входом блоку управління зворотного виска, вхід передавача зворотного виска електрично пов'язаний з виходом блоку управління зворотного виска; вихід блоку управління зворотного виска електрично пов'язаний з входом блоку обробки інформації, вхід блоку управління зворотного виска електрично пов'язаний з виходом блоку обробки інформації; вихід блоку обробки інформації електрично пов'язаний з входом блоку запису та зберігання інформації, вхід блоку обробки інформації електрично пов'язаний з виходом оптико-електронного блоку; вхід оптико-електронного блоку тонким світловим пучком 10 пов'язаний з виходом лазерного блоку; вхід оптико-електронного блоку тонким світловим пучком 10 пов'язаний з виходом лазерного блоку; входом лазерного блоку є тонка нитка зворотного виска; вихід блоку обробки інформації ЦПУ електрично пов'язаний з входом блоку цифрового топографічного плану; виходи блоку цифрового топографічного плану електрично пов'язані з входами блоків динамічної індикації та запису і зберігання; вихід блоку запису і зберігання електрично пов'язаний з входом блоку динамічної індикації. [9]

Технічним результатом є повна автоматизація поточного контролю зсувних точок у реальному масштабі часу з підвищеною точністю та із забезпеченням попередження про можливий зсув. На рис.5 представлена блок-схема системи



контролю положення зсувного масиву [9]: 1. центральний пульти управління (ЦПУ); 2. прийомо-передавач ЦПУ; 3. передавач зворотного виска; 4. блок управління зворотного виска; 5. блок обробки інформації; 6. блок запису та зберігання інформації; 7. оптико-електронний блок; 8. лазерний блок; 9. тонка нитка зворотного виска; 10. тонкий світловий пучок; 11. програмний блок; 12. блок обробки інформації ЦПУ; 13. блок цифрового топографічного плану; 14. блок динамічної індикації; 15. блок запису і зберігання.

При цьому 1, 2, 11, 12, 13, 14, 15 – бло-

Рис. 5. Блок-схема контролю положення, що встановлені при центральному зсувного масиву пункті; 3, 4, 5, 6 – блоки, що встановлені во голові свердловини кожного зворотного виска.

Зворотні виски встановлені в зсувному масиві у свердловинах, у стволах із забетонуваним якорем у нижній частині з оголовком та блоком поплавка в захисному кожусі у верхній частині. Тонка нитка 9 натягнута та закріплена: один кінець - на якорі, інший - на конструкції поплавка.

Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності

На рис.5 суцільними лініями зі стрілками позначені провідні електричні зв'язки, подвійними лініями зі стрілками - оптичні зв'язки, а зигзагоподібними лініями зі стрілками – блоки, зв'язані дистанційно по радіоканалу. [9]

На рис.6 схематично показані елементи зворотного виска, встановлені в оголовку 16, що захищений кришкою 17 (18 – свердловина).

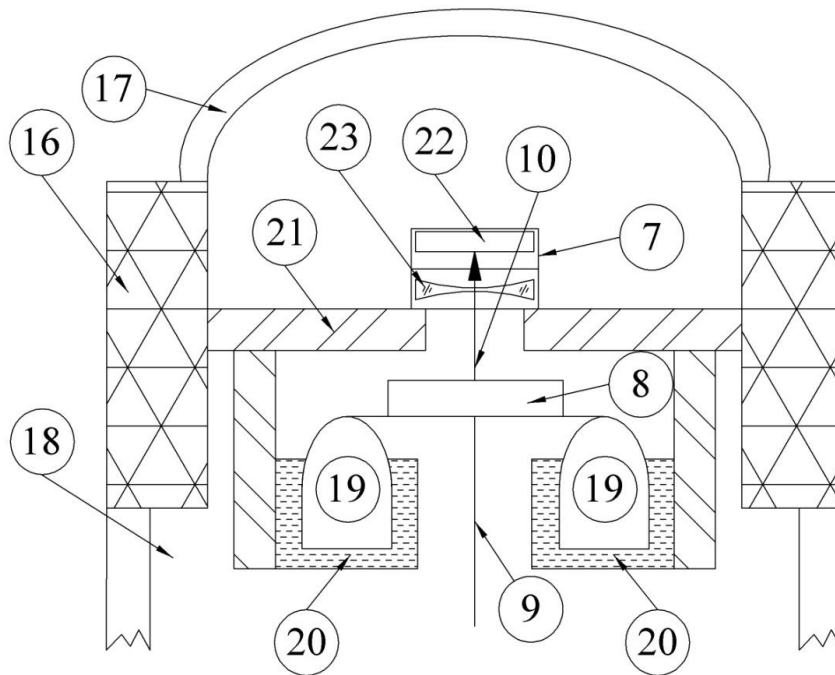


Рис. 6. Елементи зворотного виска

На кронштейні 21, жорстко закріпленому на конструкції оголовку, встановлений оптико-електронний блок 7, а на блоці поплавка 19, що плаває в торондальній посудині з рідиною 20, закріплений лазерний блок 8.

Блок 7 містить фотоприймальну матрицю 22 і негативну лінзу 23, що встановлені в єдиному корпусі.

Блок 8 формує тонкий світловий пучок 10, що виставлений в напрямку по осі тонкої нитки 9. Блоки 3, 4, 5, 6 і блок електроживлення також розміщені в зоні оголовку під кожухом. Всі зворотні виски зсувного масиву за запитом центрального пульта 1 передають йому інформацію про зміну положення тонких ниток (тобто зміщення оголовок відносно первинного положення) за напрямком осей координат x та y . [9]

У місці положення ЦПУ (1) розміщені блоки 11, 12, 13, 14, 15, які електрично зв'язані з блоком 1, а також блок електроживлення.

Система працює наступним чином: за сигналом блоку ЦПУ (1) через блок 11, блок 12 формує сигнали опитування зворотних обвісів, комутує їх і направляє в блок 2, який здійснює передачу сигналів по радіоканалу в блоки 3 (для кожного зворотного виска в масиві). [9]

Сигнал опитування потрапляє в блок управління 4, який вмикає блоки 7 і 8. У блоці 7 на фотоприймальній матриці фокусують зображення світлового пучка 10, яке перетворюють в електричні сигнали і потім направляють в блок 5, в якому сигнали обробляють і обчислюють величини зміщення нитки виска 9 відносно оголовку 16 за напрямками осей x та y .

Сигнали, які містять закодовані значення зміщення оголовків, направляють у блок 12, в якому збирають сигнали про зміщення у всіх зворотних висках на зсувному масиві, нумерують, кодують і передають в блок 13, де на цифровому топографічному плані зсувного масиву виконують оцінку ситуації і прогноз її розвитку за даними попередніх опитувань і даними, що закладені в програмі блоку 12. Результати індукуються в блоці 14 на дисплеї, а також передають у блок 15 для запису і зберігання.

Висновки

1. Підвищений інтерес до розв'язання задач зсувної небезпеки та побудова відповідних математичних моделей, які адекватно описують ці негативні деформаційні процеси в геологічному середовищі внаслідок зміни стану природно-геологічних та техногенних чинників, а також розробка відповідних алгоритмів викликані гострою потребою при оптимальному вирішенні питань використання земельних ділянок зі складним рельєфом і гідрологією та збереження навколишнього природного середовища[4].

2. Основними природними факторами активізації зсувів є метеорологічні, гідрологічні, гідрогеологічні, сейсмічні [1]. Вплив цих факторів на активізацію зсувів можна істотно зменшити шляхом застосування засобів інженерного захисту для послаблення ерозійної та абразивної дії поверхневих вод, перепланування поверхні, дренажування і закріплення схилів рослинністю, технічної меліорації ґрунтів, регулювання поверхневого стоку на схилах, механічного утримування зсувів підпірними стінами, палями та іншими інженерними спорудами.

3. Розроблено інноваційний підхід режимного експрес-аналізу до системи контролю зсувних масивів та проаналізовано геодезичні методи та інструменти, які використовуються для контролю положення точок на земній поверхні.

4. Проаналізувавши ефективність різних методів прогнозування зсувних процесів шляхом розрахунків і моделювання, можна зробити висновок, що запропонований метод експрес-аналізу є найефективнішим (рис.7).

Таким чином, запропонована система контролю зсувних ділянок є методом режимного експрес-аналізу зсувів, що дозволяє в автоматичному режимі реалізовувати моніторинг зсувних масивів у реальному масштабі часу, при цьому система, маючи високу точність, дозволяє фіксувати мікропереміщення ґрунту напочатковому етапі виникнення зсуву (при набуханні), що суттєво підвищує ефективність моніторингу.

Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності

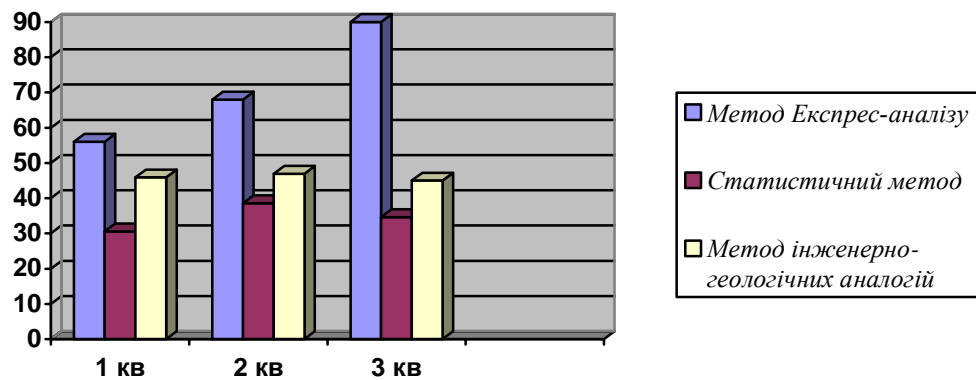


Рис. 7. Ефективність методів прогнозування зсувних процесів, %

* * *

1. Постанова КМУ «Про затвердження Комплексної програми протизсувних заходів на 2005-2014 роки» від 22 вересня 2004 р. N 1256.

2. Отчет о научно–исследовательской работе «Исследование роли природных и антропогенных факторов гравитационных экзодинамических процессов на территории Донецкой области». — Донецк: ДонНТУ, 2000. — 100 с.

3. Сайдаковський С.З. Інженерна геологія. — Харків: ХДУ, 1959.

4. Трофимчук О.М., Калюх Ю.І., Глебчук Г.С. Практичне відпрацювання методики оцінки і прогнозу зміни складних гідрогеологічних та інженерно-геологічних процесів // Наука та інновації. 2012. - Т. 8. № 4. - С.18-24.

5. Островський А.Л. Геодезія, частина II: Підручник для вузів / А.Л. Островський, О.І. Мороз, В.Л. Тарнавський – Львів : НУ «Львівська політехніка», 2007. – С. 92–100.

6. Телятник А.О. Комплексное изучение и прогнозирование оползней: Монография / А.О. Телятник. – К. : 1993. – С. 43–46.

7. Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. Т.2. Монография / К.М. Антонович; ГОУ ВПО «Сибирская государственная геодезическая академия». – М. : ФГУП «Картгеоцентр», 2005. – С. 172–181.

8. Боровий В.О. Високоточні інженерні-геодезичні роботи при будівництві та експлуатації інженерних споруд: Навч. Посібник / В.О. Боровий, В.Г. Бурачек, С.П. Войтенко, І.Є. Суботін. – К. : ІСДО, 1993. – С. 28–34.

9. Бурачек В.Г., Кривоберець С.В., Олінович А.С., Хілик О.Д., Патент на корисну модель № 71720 «Система контролю положення зсувного масиву» від 25.07.2012 р.

Отримано: 13.08.2012 р.