УДК 624.15; 725

DOI <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2020.38.1>**Григоровський П.Є.**

д.т.н., с.н.с.,

ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва», м. Київ

Басанський В.О.

зав. сектору,

ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва», м. Київ

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МОНІТОРИНГУ ЗАБУДОВИ ЗСУВОНЕБЕЗПЕЧНИХ ТЕРИТОРІЙ

Анотація. Наведена методика дослідження організаційно-технологічних показників інструментального моніторингу забудови зсувонебезпечних територій, що базується на аналізі та синтезі складників умовної ідеалізованої моделі зсувонебезпечних територій та їх забудови. Основою такої моделі є найбільш поширені в Україні геологічні умови, що формують зсувонебезпечні території, та забудова таких територій, що у сукупності впливають на перелік факторів природного та техногенного впливу на їх стійкість. Вихідними даними для вибору системи та проектування технології вимірювальних робіт за наявності загрози зсувів є: стійкість схилів та їх крутизна; стан та геологічний склад ґрунтової основи; джерела підтоплень та вібрацій, що є загрозою порушення стійкості схилів. Ризики пошкоджень оцінюються на основі даних інженерних вишукувань, призначених для проектування заходів зі зменшення негативних наслідків, зумовлених геологічними процесами, природними і техногенними надзвичайними ситуаціями. Для оцінки ризику пошкоджень, окрім виявлення загроз, слід виконати оцінку вразливості будівлі та території в районі будівлі.

Ключові слова: інструментальний моніторинг, зсуви, методика, моделювання, технологія будівництва, організація будівництва.

Постановка проблеми. Відомо, що людська діяльність та початкові складні інженерно-геологічні умови є факторами щодо активізації зсувних процесів, а тривалість життєвого циклу будівель залежить від своєчасного врахування загроз пошкодження та прогнозування зміни їх технічного стану з урахуванням синергетичного впливу сукупності природних, техногенних, будівельних та експлуатаційних загроз [1]. Моніторинг з урахуванням визначених граничних параметрів стійкості схилів дасть змогу своєчасно виявити фактори та параметри, що призводять до втрати (повної чи часткової) такої стійкості, і передбачити необхідні протизсувні заходи у правильній послідовності та у необхідному обсязі. Прогнозування динаміки розвитку деформацій будівель з використанням даних інструментального моніторингу дасть змогу враховувати вплив геодинамічних процесів та інших факторів зовнішнього середовища на експлуатаційну придатність будівель.

Аналіз останніх досліджень. У дослідженнях А.В. Зуска [2] під час визначення зсувонебезпечних ділянок за результатами геодезичного моніторингу зазначено, що будівництво та забезпечення безаварійної експлуатації будівель на зсувонебезпечних територіях зумовлюють необхідність здійснення спостережень за станом геологічного середовища цих територій. Застосування систематичного інструментального моніторингу дає можливість визначати параметри зсувних процесів для кожної ділянки схилу і своєчасно виявляти зміни положення поверхні, її геологічних шарів та будинків і споруд, розміщених на ній.

У нормативних документах СНГ стосовно моніторингу та прогнозування небезпечних геологічних явищ та процесів встановлено, що основною задачею моніторингу є своєчасне виявлення та прогнозування розвитку небезпечних геологічних процесів, що впливають на безпечний стан геологічного середовища, з метою розроблення та реалізації заходів з попередження руйнівних зсувів [3].

У дослідженнях П.Є. Григоровського у процесі розробки будівельно-інформаційних моделей і методів формування організаційно-технологічних рішень інструментальних вимірювань у будівництві [1; 4; 5] вихідними даними для вибору системи та проектування технології вимірювальних робіт за наявності загрози зсувів визначено: стійкість схилів та їх крутизна; стан та геологічний склад ґрунтової основи; джерела підтоплень та вібрацій, що є загрозою порушення стійкості схилів. Ризики пошкоджень оцінюються на основі даних інженерних вишукувань, призначених для проектування заходів зі зменшення негативних наслідків, зумовлених геологічними процесами, природними і техногенними надзвичайними ситуаціями. Для оцінки ризику пошкоджень, окрім виявлення загроз, виконано оцінку уразливості будівлі та території в районі будівлі. Ступінь уразливості будівлі залежить від характеристик самої будівлі, характеристик та стану ґрунтової основи. Параметри будівель і території забудови, від яких залежить ступінь уразливості: тип підземної споруди, ступінь зношення будівлі, тип фундаменту, коефіцієнт стійкості схилу, літологічні комплекси порід, крутизна схилів, гідрогеологічні умови.

Для вирішення задачі оптимізації періодичності спостережень під час проведення моніторингу зсувонебезпечних ділянок можуть бути використані методики, наведені такими вченими, як О.О. Терентьев, О.В. Доля, О.І. Баліна в [6], що передбачають визначення критерію оптимальності, параметрів оптимізації та обмежень.

Мета роботи – розробка методики дослідження організаційно-технологічних показників інструментального моніторингу забудови зсувонебезпечних територій, що базується на аналізі та синтезі складників умовної ідеалізованої моделі зсувонебезпечних територій та їх забудови на основі визначення геологічних умов, що формують зсувонебезпечні території, а також факторів природного та техногенного впливу на стійкість об'єктів забудови.

Виклад основного матеріалу. Загальна методика дослідження організаційно-технологічних показників інструментального моніторингу забудови зсувонебезпечних територій базується на аналізі та синтезі складників умовної ідеалізованої моделі зсувонебезпечних територій та їх забудови. Основою такої мо-

делі є найбільш поширені в Україні геологічні умови, що формують зсувонебезпечні території, та забудова таких територій, що у сукупності впливають на перелік факторів природного та техногенного впливу на їх стійкість.

Обсяги циклу та періодичність спостережень у процесі інструментального моніторингу забудови зсувонебезпечних територій має бути оптимальною, тобто необхідною та достатньою для визначення динаміки процесів, що відбуваються на зсувонебезпечній ділянці, та раціональною щодо трудових і фінансових витрат на проведення інструментального моніторингу.

Постановка задачі оптимізації періодичності спостережень під час проведення моніторингу зсувонебезпечних ділянок передбачає визначення критерію оптимальності, параметрів оптимізації та обмежень [6].

Критерій оптимальності визначає ознаки, на основі яких проводиться порівняльна оцінка допустимого розв'язання задачі і вибір оптимального рішення. Критерієм оптимальності може бути вимога досягнення максимального або мінімального значення однією або декількома функціями параметрів оптимізації, які відображають кількісну міру досягнення мети оптимізації об'єкта, що розглядається. Для задачі моніторингу критерієм оптимальності є мінімальна періодичність спостережень у разі безумовного забезпечення необхідної точності прогнозування небезпечних геологічних явищ і процесів та мінімальні витрати трудових і фінансових ресурсів на проведення моніторингу.

Параметри оптимізації являють собою незалежні змінні параметри, які повністю та однозначно визначають задачу, що розв'язується. Це визначення обсягів циклу спостережень (кількість контрольованих точок), періодичність спостережень (кількість спостережень за одиницю часу – місяць, квартал, рік тощо) за станом зсувонебезпечних ділянок, на яких здійснюється нове будівництво або експлуатуються будівлі та споруди, а також трудові та фінансові витрати, необхідні на проведення моніторингу зсувонебезпечних територій. Оптимізовані параметри витрат на отримання інформації щодо стійкості схилів мають забезпечити отримання інформації, достатньої для мінімізації витрат на інженерний захист зсувонебезпечної території.

Обмеження визначають залежності між параметрами, які повинні враховуватися

у разі пошуку розв'язання поставленої задачі. Під час здійснення моніторингу зсувонебезпечних територій збільшення періодичності спостережень зумовлює збільшення загальних витрат на моніторинг. Але мінімально допустима періодичність спостережень має встановлюватися за умови надійного визначення перебігу геодинамічних процесів.

Кожна з таких функцій називається цілювою. Якщо цілюва функція єдина, то задачу оптимізації називають задачею математичного програмування, інакше – задачею багатокритеріальної (векторної) оптимізації. Оскільки основна мета розрахунків – це мінімізація вартості моніторингу, то задача оптимізації є задачею математичного програмування.

Задачі математичного програмування залежно від цілювої функції та обмежень поділяють на такі класи:

- лінійне програмування – цілюва функція і обмеження лінійні;
- нелінійне програмування – цілюва функція або обмеження нелінійні;
- цілочисельне програмування – змінні можуть набувати тільки цілочислових значень;
- дискретне програмування – змінні можуть набувати тільки визначених дискретних значень із заданої множини;
- булеве програмування – змінні можуть набувати тільки два значення: 0 або 1;
- параметричне програмування – коефіцієнти залежать від певного параметра;
- стохастичне програмування – цілюва функція та обмеження містять випадкові параметри, які отримують певні значення із заданою ймовірністю;
- геометричне програмування – цілюва функція та обмеження являють собою функції спеціального вигляду-позиноми;
- динамічне програмування – багатокрокові процеси пошуку оптимального розв'язку;
- сепарабельне програмування – цілюва функція являє собою суму функцій, різних для кожної змінної, обмеження можуть бути лінійні або нелінійні.

Математична постановка задачі оптимізації:

$$\begin{aligned} f(x_j) &\rightarrow \text{opt (min, max);} \\ g_i(x_j) &\leq b_i; \\ d_j &\leq x_j \leq D_j; \\ i &= 1, \overline{m}; \quad j = 1, \overline{n}, \text{ де} \end{aligned} \quad (1)$$

$f(x_j)$ – цілюва функція;

$g_i(x_j)$ – обмеження, що встановлюють залежності між змінними;

b_i – змінні;

x_j – змінні, які можуть набувати значень у певному діапазоні d_j і D_j ;

m – кількість обмежень;

n – кількість змінних.

Математичне програмування складається з таких етапів:

1. Вивчення системи; визначення мети, яка повинна бути досягнута внаслідок розв'язання задачі, та умов, які визначають геодинамічні процеси; опис вхідної та вихідної інформації; визначення можливих підходів до розв'язання задачі.

2. Формалізація задачі; побудова математичної моделі (визначення критеріїв оптимальності, параметрів, обмежень).

3. Аналіз виду і структури математичної моделі; вибір методу розв'язання задачі.

4. Розв'язання задачі.

5. Аналіз результатів розв'язання.

6. Прийняття оптимального розв'язку.

Для визначення видів зсувів, що найчастіше проявляються в зсувонебезпечних регіонах України, проводиться їх ранжування із залученням фахівців у галузі технології та організації будівельного виробництва.

Оскільки заходи захисту територій від небезпеки проявів зсувів є важливим технічним, економічним та соціальним аспектом у прийнятті рішень щодо нового будівництва та забезпечення експлуатаційної придатності споруд на геодинамічних територіях, за допомогою ранжування здійснюється визначення найраціональніших протизсувних заходів з точки зору ефективності запобігання та стабілізації зсувних процесів, часових і фінансових витрат на їх реалізацію.

Споруди і заходи інженерного захисту повинні забезпечувати необхідний коефіцієнт запасу стійкості схилу; довготривалу стабілізацію зсувонебезпечного схилу з об'єктами інженерного захисту без наднормових деформацій їх основи, які можуть вплинути на експлуатацію забудови на схилі.

Розрахунки стійкості зсувонебезпечного схилу виконуються за розрахунковою схемою в програмному комплексі PLAXIS на різних етапах формування зсуву. У програмному комплексі PLAXIS ґрунт моделюється як багатокомпонентний матеріал, в якому може виникати тиск у поровій воді (гідроста-

тичний і надлишковий). Програмний комплекс PLAXIS дає змогу моделювати поетапне зведення споруди, екскавацію і відсіпання ґрунту і різні за величиною і напрямками навантаження (рис. 1). За допомогою програми можуть бути виконані розрахунки фільтрації та консолідації ґрунтів, розрахунки стабільності з визначенням потенційних поверхонь руйнування і значень коефіцієнта запасу, які відповідають рівню досягнутих напружень.

У програмному комплексі PLAXIS є такий набір елементів, як: плита; оболонка; балка; стійка; анкер; шарнір; георешітка; паля; дрена; колодязь; тунель; контактні елементи (інтерфейси). Також у програмі PLAXIS є набір моделей різного ступеня складності для ґрунтів, бетону і скельних порід. У програмному комплексі представлені такі нелінійні моделі ґрунту: пружноідеальнопластична модель Кулона-Мора; пружнопластична модель зміцненого ґрунту; модель м'яких повзучих ґрунтів (в'язкопластична поведінка слабких ґрунтів); модель анізотропного тріщиноватого скель-

ного масиву (моделювання шаруватих гірських порід); модель sam-clay [en] (моделювання слабких ґрунтів); модель Хека-Брауна.

Базовою моделлю ґрунту є модель Кулона-Мора, заснована на основних характеристиках міцності ґрунтів: зчеплення c , кут внутрішнього тертя ϕ , кут ділатансії ψ , коефіцієнт Пуассона ν і модулі пружності E . Додатково в програмному комплексі є більш досконалі моделі: пружнопластична модель гіперболічного типу (модель зміцнених ґрунтів), модель слабого ґрунту з урахуванням повзучості (для моделювання поведінки нормально ущільнених слабких ґрунтів у часі) та інші моделі.

У програмному комплексі можуть бути проведені статичні розрахунки стійкості споруд, розрахунки фільтрації, може бути визначено надмірний поровий тиск ґрунтів, проведені розрахунки консолідації ґрунтів (потрібне завдання коефіцієнтів фільтрації для ґрунтів), визначені коефіцієнти надійності (методом зниження параметрів міцності ґрунту: кута внутрішнього тертя ϕ і зчеплення c).

Рис. 1. Побудова розрахункової моделі базується на послідовності розрахунку зсувонебезпечного зсуву в програмно-розрахунковому комплексі PLAXIS 3D: 1 – геометрія (топографія) рельєфу території; 2 – геологічна будова масиву ґрунту території; 3 – розбивання на кінцеві елементи (розрахункові); 4 – гідрологічна ситуація території; 5 – ймовірна поверхня ковзання (результат розрахунку); 6 – теж саме із сіткою кінцевих елементів

Перераховані вище розрахунки можуть бути виконані для покрокового навантаження і для поетапного будівництва та екскавації ґрунтів. У разі значних деформацій може бути додатково використаний коригувальний розрахунок Лагранжа, який являє собою розрахунок по змінній сітці кінцевих елементів.

Висновки. Методика дослідження організаційно-технологічних показників інструментального моніторингу забудови зсувонебезпечних територій базується на аналізі та синтезі складників умовної ідеалізованої моделі зсувонебезпечних територій та їх забудови. Основою такої моделі є найбільш поширені в Україні геологічні умови, що формують зсувонебезпечні території, та забудова таких територій, що у сукупності впливають на перелік факторів природного та техногенного впливу на їх стійкість. Вихідними даними для вибору системи та проектування технології вимірювальних робіт

за наявності загрози зсувів є: стійкість схилів та їх крутизна; стан та геологічний склад ґрунтової основи; джерела підтоплень та вібрацій, що є загрозою порушення стійкості схилів. Ризики пошкоджень оцінюються на основі даних інженерних вишукувань, призначених для проектування заходів зі зменшення негативних наслідків, зумовлених геологічними процесами, природними і техногенними надзвичайними ситуаціями. Для оцінки ризику пошкоджень, окрім виявлення загроз, слід виконати оцінку уразливості будівлі та території в районі будівлі.

Інструментальний моніторинг динаміки руху точок на поверхні та в шарах зсувонебезпечного схилу, а також їх фізико-технічних характеристик дає можливість визначити стан середовища та дозволяє своєчасно виявити максимальні деформації, що свідчать про необхідність розроблення та реалізації протизсувних заходів.

Література

1. Типологія та ранжування зсувних процесів і протизсувних заходів у межах інженерно-геологічних регіонів України з урахуванням критерію уразливості. / П.Є. Григоровський, Ю.М. Червяков, Л.М. Грубська, В.О. Басанський, С.О. Мармалюк. Будівельне виробництво. 2019, № 68, С. 39–46.
2. Зуска А.В. Визначення зсувонебезпечних ділянок за результатами геодезичного моніторингу. Інженерна геодезія -2014, вип. 60, С. 14–22.
3. ГОСТ Р 22.1.06-99 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование опасных геологических явлений и процессов. Общие требования.
4. Григоровський П.Є. Будівельно-інформаційні моделі і методи формування організаційно-технологічних рішень інструментальних вимірювань у будівництві : монографія. Київ : Майстер книг, 2019. 340 с.
5. Григоровський П.Є. Методологічні основи формування організаційно-технологічних рішень інструментальних вимірювань при зведенні та експлуатації будівель і споруд : дис. ... д-ра техн. наук : спец. 05.23.08. Харків : ХТУБА. 2018. 503 с.
6. Дослідження операцій : навчальний посібник / О.О. Терентьев, О.В. Доля, О.І. Баліна. Київ : Компрінт, 2020. 116 с. : іл. 2.

References

1. Typology and ranking of landslide processes and landslide measures within the engineering and geological regions of Ukraine, taking into account the criterion of vulnerability. / P.Ye. Hrigorovskyi, Yu.M. Chervyakov, L.M. Grubsjka, B.O. Basansky, S.O. Marmalyuk. Construction production. 2019, No. 68, Pp. 39–46.
2. Zuska, A.V. Determination of landslide prone areas based on the results of geodetic monitoring. Engineering Geodesy-2014, Vol. 60, pp. 14–22.
3. GOST R 22.1.06-99 Safety in emergency situations. Monitoring and forecasting of dangerous geological phenomena and processes. General requirements.
4. Hrigorovskyi, P.Ye. (2019). Building-information models and methods of formation of organizational-technological decisions of instrumental measurements in construction: monograph. Kyiv: Master of Books, 340 p.
5. Hrigorovskyi, P.Ye. (2018). Methodological bases of formation of organizational and technological decisions of instrumental measurements at construction and operation of buildings and constructions: dis. ... Dr. Tech. Science: special. 05.23.08. Kharkiv: KhTUBA. 503 p.

6. Research of operations: a textbook / O.O. Terentyev, O.V. Dolya, O.I. Balina. Kyiv: Comprint, 2020. 116 p.: ill. 2.

METHODOLOGY OF RESEARCH OF ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL INDICATORS OF INSTRUMENTAL MONITORING OF LANDSIDE DANGEROUS AREAS

Abstract. *The method of research of organizational and technological indicators of instrumental monitoring of landslide development, based on the analysis and synthesis of components of the conditional idealized model of landslides and their development. The basis of such a model is the most common geological conditions in Ukraine, which form landslide-prone areas and the development of such areas, which together affect the list of factors of natural and man-made impact on their resilience. The initial data for the selection of the system and the design of the technology of measuring works in the presence of the threat of landslides are: the stability of the slopes and their steepness; condition and geological composition of the soil base; sources of flooding and vibration, which is a threat to the stability of the slopes. Damage risks are assessed on the basis of engineering surveys designed to design measures to reduce the negative effects caused by geological processes, natural and man-made emergencies. To assess the risk of damage, in addition to identifying threats, a vulnerability assessment of the building and the area around the building should be performed.*

It is proved that instrumental monitoring of dynamics of places on the surface and in the layers of the slope, as well as their physical and technical characteristics, allows to determine the state of the environment and to detect maximum deformations, indicating the need to develop and implement anti-landslide measures.

Key words: *instrumental monitoring, shifts, methods, modelling, construction technology, construction organization.*

Hrihorovskiy P.Ye., Basanskyi V.O.

Doctor of Technical Sciences, Senior Research Officer,
State Enterprise "Scientific Research Institute of Building Production", Kyiv

Basanskyi V.O.

Lane sector

State Enterprise "Scientific Research Institute of Building Production", Kyiv