

УДК 628.517.2:699.844

МЕТОДИ ІНЖЕНЕРНОГО ЗАХИСТУ СКЛАДНИХ ЛАНДШАФТНИХ ТЕРИТОРІЙ ПІД ЧАС ЗАБУДОВИ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ

М.М. Ходан¹, С.В. Зубик²

Висвітлено проблеми особливостей планування та забудови населених пунктів у складних геологічних умовах. Запропоновано застосувати інженерний захист від небезпечних стихійних явищ. Визначено та обґрунтовано небезпечні стихійні процеси ліквідації їх наслідків на території населених пунктів.

У багатьох містах і селах Прикарпаття відбулися значні зміни інженерно-геологічних і гідрогеологічних умов для будівництва та експлуатації будівель і споруд, інтенсифікувались і поширились небезпечні геологічні процеси: збільшилась площа просядань земної поверхні над відпрацьованими шахтними полями, створились кастові ями, активізувались зсуви та яри, збільшилась площа засоленних і підтоплених земель. З метою запобігання руйнації будівель та споруд потрібно здійснювати інженерні заходи щодо територій і об'єктів, запобігання, усунення або пониження до допустимого рівня негативного впливу діючих і потенційно можливих негативних геологічних процесів.

Ключові слова: геологічні явища, гідрогеологічні умови, геологічні процеси, кастові ями, зсуви, вишукування, заходи контрфорси, антисейсмічні пояси, ландшафт, територія.

Основним завданням територіального розвитку є вибір територій для будівництва, визначення регіональних напрямків перспективного територіального розвитку, резервування територій.

Упродовж останніх десятиліть стала очевидною тенденція розвитку в містах різноманітних ускладнень у будівництві, пов'язаних з недооцінкою інженерно-будівельних умов територій. Найбільш серйозні ускладнення, що проявляються у деформаціях та аваріях будинків і споруд, які призводять до потреби зміни проектних рішень, затримки введення об'єкта в експлуатацію й до їхнього подорожчання, спостережено на територіях, які характеризуються складними інженерно-геологічними умовами. Нове будівництво рекомендують розміщувати на найбільш придатних для забудови територіях з урахуванням містобудівних умов. Гідрогеологічні умови визначаються особливостями залягання ґрунтових вод. Для оцінювання важливо визначити глибину їх залягання, коливання рівня, напрямок руху води, водопроникність ґрунту водоносного шару. Крім зазначених вище факторів, на умови будівництва та експлуатації будівель і споруд також впливають небезпечні геологічні процеси: карст, зсуви, зрушення, плавуні, селі, сейсмічність, рух земної кори тощо [1]. Згідно із Вказівками щодо розроблення технічної документації, до складу водоохоронних зон повинні входити басейнові землі, схили більше 5°, які прилягають до берегових смуг, а також балки, які безпосередньо впадають у річкові долини. Осушені землі, стік з яких потрапляє у річкову долину, повністю входять до складу водоохоронних зон.

Інтенсивні дощі 2008 р., які пройшли на території Прикарпаття, характеризувалися значною контрастністю за площею, та різною потужністю. Найбільшої ураженості екзогенними процесами в межах передгірської частини зазнали

території Надвірнянського та Богородчанського районів, у гірській частині Верховинського та Косівського районів. Найбільшої шкоди стихія завдала лінійним об'єктам, дорогам і мостам у басейні річок Білого та Чорного Черемоша, Черемоша, Рибниці, Лючки, Пістинки, у середній течії річок Прут, Бистриці Солотвинської та Надвірнянської. У передгір'ї склалися умови для формування зсувів потоків, які в нижній частині переходять у селі. Такий потік сформувався у селі Гвізд, де у верхній частині схилу було зрушено 300 тис. м² ґрунту, перезволожено його та знесено в нижню частину схилу на відстань 400 м. У смузї поширення глинистих утворень скибової зони виявлено локальні прояви зсувів змішаного та блокованого типів [5]. Зсуви структуровані, розміри їх сягали від 4-6 га (сmt Делятин, присілок Левушик) до 18 га (с. Манява). У смузї поширення трикомпонентного флішу повсюди створились умови для формування твердої складової селевого потоку. Великі потоки дали конуси виносу породи і ґрунту об'ємом 8-10 тис. м³, розвантаження селевих мас супроводжувалось руйнацією доріг, мостів і житла. Практично всі плиткі потоки мали селевий характер з конусами виносу породи і ґрунту 200-400 м³. Конусами виносу великих потоків другого порядку були запроваджені русла основних рік зі зміною напрямків їх течій, внаслідок чого відбувалися значні руйнації в межах населених пунктів Шибине, Яблуниця (табл. 1).

Табл. 1. Типи селів, причини їх виникнення і зони їх зародження

Тип селів	Кількість випадків
Водокам'яний	90
Водогрязекам'яний	1
Грязекам'яний	50
Грязевий	–
Причина утворення	
Злива	78
Дош	61
Сніготанення	–
Прорив загат	2
Зона зародження	
Гірська	12
Середньогірська	129
Низькогірська	–

Склад маси селів залежить від складу зруйнованих гірських порід, що складають гірські схили. На схилах, де нагромадилось багато каміння, яке здебільшого потрапляє в русло тільки з незначною домішкою дрібнозему, формується водокам'яний потік. Якщо ж каміння на схилах і в руслі немає, тоді потік змиває ґрунтовий прошарок і внаслідок цього утворюються грязеві паводки. Грязекам'яні селі утворюються за одночасного потрапляння у потік дрібних фракцій наносів і великого уламкового матеріалу. Для характеристики особливостей селевої маси використовують такі параметри:

- об'ємна вага, або вага одного кубічного метра маси селю ($\gamma_c, \text{т/м}^3$);
- об'ємна вага води ($\gamma_w = 1,0$) і насосів у складі селю ($\gamma_e = 2,5 + 2,8, \text{т/м}^3$);
- об'єм твердого матеріалу в масі селю (без порожнин) ($W_m, \text{м}^3$);
- об'єм води у складі селевої маси ($W_w, \text{м}^3$);

¹ проф. М.М. Ходан, народний архітектор України – Івано-Франківський університет права ім. Короля Данила Галицького;

² доц. С.В. Зубик, канд. техн. наук – Івано-Франківський університет права ім. Короля Данила Галицького

- об'єм селю $W_c = W_m + W_o, \text{ м}^3$;
- об'ємна концентрація насосів $S = W_m / W_c$;
- середня вагова мутність за час селевого паводку ($p, \text{ м}^3$);
- вагова концентрація твердої фази селю (P);
- наносо-водне або твердо-рідке співвідношення $B_o = W_m / W_c$.

Швидкість руху водокам'яних та грязекам'яних селевих паводків досить велика і сягає 7-8 м/с. Грязеві селі рухаються із меншими швидкостями залежно від ступеня їх концентрації (чим вища концентрація наносів, тим швидкість руху менша). Водна ерозія та її інтенсивність залежить як від енергії водотоків, так і від протиерозійної стійкості ґрунтів водозборів. Ерозія поверхні водозборів буде тим більшою, чим більша швидкість течії води і менш стійкі до розмиву ґрунту. Енергія текучих вод визначається їхньою витратою і падінням, тобто, вона залежить від величини стоку і рельєфу місцевості. І ще: чим більшим буде стік, тим більшим буде розмив.

Стійкість поверхні до розмиву залежить від властивостей порід ґрунтів і рослинного покриву, які формують цю поверхню. Найстійкішими є корінні породи, найменш стійкими – осадові. Рослинність загалом зменшує інтенсивність ерозії. Водна ерозія залежить як від фізико-географічних факторів, так і від антропогенних. Продукти ерозії з поверхні басейну становлять більшу частину річкових наносів. Розмив дна і берегів, тобто, руслова ерозія становить незначну частину наносів. На практиці визначення витрат наносів здійснюють безпосередніми вимірюваннями, які дають змогу встановити зв'язок між витратами води та їх наносів, тобто, $R = f(Q)$.

У разі відсутності даних вимірювань наносів, їх втрати визначають за залежністю, яку запропонував М.Л. Маккаєв

$$R_c = A \cdot I \cdot Q^m, \quad (1)$$

де: R_c – сумарна (завислі та донні) витрата наносів; A – ерозійний коефіцієнт (для річок України збільшується з півночі на південь); m – показник ступеня ≥ 2 – для рівнинних річок та ≤ 3 – для гірських; I – похил; Q – витрати води, $\text{м}^3/\text{с}$.

За даними Івано-Франківської облдержадміністрації, в області на цей час є близько 800 зсувних ділянок, 270 селевих потоків і 35 ділянок інтенсивного руслопереформування. Загальна кількість карстопроявів – 1008 шт. Площа поверхневих карстопроявів – 658 км^2 . Остання катастрофічна активізація зсувних та селевих процесів відбувалася у 1969 р., локальні активізації – у 1971, 1979, 1980, 2003, 2008 рр. [5].

У 2009 р. було проведено оперативне обстеження територій районів, які було оголошено зонами стихійного лиха: Калуського (місто Калуш, села Боднарів, Кропивники, Пійло, Голинь, Войнилів та ін.) а також Богородчанського, Коломийського, Рожнятівського, Навірянського, Косівського, Верховинського р-нів [5].

Протягом року найбільшу мутність (як і витрату наносів) спостережено у багатоводний період (здебільшого це водопілля), а найменшу – в зимову межень. На рівнинних річках завислі наноси становлять 90-98 % від загальної частки наносів, для гірських же водотоків – частка цих наносів зменшується до

кількох відсотків. Встановлено, що між масою частинок, які переміщуються по дну, і швидкістю, за якою ці частинки рухаються, існує залежність, яку названо законом Ері і виражають формулою

$$M = AV^6, \quad (2)$$

де: M – маса частинок, або їх вага; V – швидкість, з якою частинки рухаються; A – постійний коефіцієнт. Із формули видно, що вага частинки, яка переміщується по дну, пропорційна шостому ступеню швидкості. Уявлення про мутність, витрати та стік наносів річок Прикарпаття дає табл. 2.

Табл. 2. Середня мутність, витрати та стік завислих наносів басейну р. Прут

Річка	Пункт	Площа водозбирання, тис. км^2	Середні багаторічні наноси		
			мутність, $\text{г}/\text{м}^3$	витрати, $\text{кг}/\text{с}$	стік завислих наносів, т
Прут	Ворохта	48,3	17	0,11	3,5
Прут	Татарів	366	44	1,3	41
Прут	Яремче	597	55	2,8	89
Кам'янка	Дора	18,1	61	0,14	4,4

Підтоплення призводить до виникнення просідань і набухання ґрунту, активізації зсувів і карст, підвищення сейсмічної бальності у сейсмонебезпечних зонах корозійної активності ґрунтових вод, що в підсумку спричиняє деформацію будинків і споруд, виникнення аварійних ситуацій і забруднення водонесних горизонтів, які є джерелом питного водозабезпечення населення.

Для захисту більш цінних територій (населені пункти, майданчики промислових підприємств і т. ін.) вдаються зазвичай до різного виду берегозміцнювальних заходів і споруд. До них належать закріплення укосів різного роду покриттями: фашинами, кам'яною закидкою, брукуванням, відмощенням), бетонними плитами, асфальтом і т. ін. Покриття вкладають на піщано-гравійну або щебенисто-піщану підготовку.

В основі берегового покриття влаштовують упор у вигляді кам'яної призми, пальового або шпунтового огороження. Інколи огорожувальну конструкцію виконують у вигляді підпірної стінки з кам'яної кладки, бетону чи залізобетону, здебільшого на пальовій основі. Інколи будують контрфорси з добре водопроникного матеріалу (камінь, гравій, пісок). На великих водосховищах зі значною висотою хвиль можуть будувати буни і хвилеломи, влаштовують також дренажі різного типу [3].

За результатами виконаного аналізу, незважаючи на складність вирішення цієї проблеми, на Прикарпатті здійснюють викладені вище заходи, які дали позитивні результати. На зсувних, зсувонебезпечних та обвалонебезпечних територіях передбачають заходи з інженерного захисту від зсувів і обвалів. Але через високу вартість інженерного освоєння складних в інженерно-геологічному вимірі територій виконують переважно вибіркоче освоєння корисних для будови ділянок (табл. 3).

Для надання будівлям і спорудам потрібної сейсмостійкості застосовують різні архітектурні та інженерно-конструктивні заходи. Вони забезпечують спорудам просторову міцність, жорсткість і стійкість. Для цього використовують жорсткі каркаси, рами, контрфорси, обв'язки, обшивки, а також спеціальні

антисейсмічні пояси. Обмежують габарити споруд (із збільшенням розмірів збільшується небезпека перекосів і розтягувальних напружень) та їх поверхню. Якщо будівля перевищує допустимі розміри, то її розділяють антисейсмічними швами на окремі відсіки простої форми. Фундаменти споруд підсилюють армуванням. Як антисейсмічний захід використовують штучне закріплення ґрунтів.

Табл. 3. Екзогенні геологічні процеси Прикарпаття

Вид екзогенних геологічних процесів	Площа поширення, км ²	Кількість проявів, одиниць	Частка ураженості регіону, %
Зсуви	299,18	788	2,15
Карст відкритий	111,9	100,8	0,81
Карст покритий	681,6	–	4,90
Карст непокритий	1951	–	14,04
Селі	606	68	4,37

Одним з основних методів боротьби з плавунами є штучне осушення водонасичених порід на термін виконання будівельних робіт. Сюди належать: 1) зниження рівня підземних вод за допомогою відкачувань води; 2) спосіб установки забивних та опускних фільтрів; 3) спосіб установки голкофільтрів. Усі ці способи застосовують в основному для боротьби з несправжніми плавунами, але у поєднанні з іншими методами (електродренажем) можуть давати ефект і в боротьбі з істинними плавунами.

Спосіб закріплення плавунів за допомогою шпунтових огорож, забивного закріплення, опускних колодязів. Застосовують шпунтове кріплення при викритті плавунів котлованами або траншеями. Для цього навколо майбутньої виїмки забивають дерев'яні, залізобетонні, а найчастіше залізні шпунти, які утворюють суцільну огорожу глибиною до 20 м, котра захищає виїмку від плавунів. Спосіб заморожування плавунів широко застосовують для тимчасового надання міцності породам. Він потребує постійних витрат енергії для підтримання порід у замерзломому стані. Бурять свердловини, в які нагнітають концентрований охолоджений розчин хлористого кальцію. Навколо свердловини утворюється зона охолодження порід (- 30° -40°С).

Застосування стисненого повітря за охолодження плавунів із використанням тиску до 2,5 Па. Повітря, що нагнітається в кесонні камери, врівноважує тиск води, нейтралізуючи одну з причин утворення плавунів.

Для укріплення ґрунту можлива силікатизація порід одно- чи дворозчинними способами. Силікатизація дворозчинним способом полягає в такому. Через систему трубок-ін'єкторів, забитих у ґрунт, нагнітається спочатку рідке скло (силікат натрію), а потім розчин хлористого кальцію. Внаслідок хімічної реакції між обома розчинами виділяється твердіючий гель кремнієвої кислоти, і порода перетворюється на породу напівскельного типу. Цей спосіб закріплення порід застосовують для зміцнення фундаментів споруд, для створення водонепроникних завес. Його не можна застосувати у разі схильних до плавунності дрібнозернистих порід. У них розчини, внаслідок своєї зв'язкості, не можуть проникати і рівномірно заповнювати дрібні пори.

Однорозчинний спосіб: нагнітається рідке скло з додаванням різних кислот (фосфорної). Порода стає водонепроникною і трохи зміцнюється. Для бо-

ротьби з карстом можна застосувати такі заходи. Припинення доступу поверхневих і підземних вод до порід, які карстуються шляхом регулювання поверхневого стоку і влаштування дренажів. Штучне обрушення покрівлі карстових пустот і заповнення їх глинистими породами. До цього вдаються під час будівництва залізниць і шосейних доріг, трубопроводів.

Цементация порід основ споруд; при цьому, через бурові свердловини у тріщини і карстові порожнини нагнітається цемент. Так створюється підземний водонепроникний бар'єр і одночасно породи зміцнюються. Бітумізація порід основи з метою створення підземного водонепроникного бар'єру. Осушення ділянок за допомогою відкачувань води помпами, зануреними у пробурені навкруги ділянок свердловини застосовують під час проходження експлуатаційних і дослідних шахт, шурфів.

Планування укосів зазвичай здійснюють у комплексі з фітогенними заходами: садінням дерев і чагарників у надводній частині схилу та вологолюбних і водяних рослин у підводній його частині. Дерев'янисто-чагарникові насадження своєю кореневою системою зміцнюють поверхню схилу, перешкоджаючи його розмиванню і руйнуванню внаслідок абразії від водосховища, ерозії від поверхневих стічних вод по схилах.

Ширину прибережних смуг потрібно приймати відповідно до "Вказівок по розробці технічної документації", яку треба погодити з усіма зацікавленими організаціями [4]. Для малих річок Прикарпаття ширину прибережних смуг прийнято так: по р. Прут на осушених орних землях, які передбачено проектом регулювання – 10 м з обов'язковим створенням захисних лісонасаджень. На ділянках річки, де передбачені гідротехнічні заходи, ширину прибережних смуг прийнято 115 м. Під час розроблення технічного проекту потрібно дотримуватись таких вимог:

- на обвалованих ділянках річок ширина прибережних смуг повинна охоплювати простір дамби, обвалування, і додатково 5 м сухого відкосу;
- на не обвалених ділянках річок, річок-каналів, які проходять по якісних сільськогосподарських угіддях, ширина прибережних смуг повинна бути 4 м;
- навколо водойм, де враховують їхнє обвалування, ширина прибережних смуг повинна становити 10 м;
- на річках, річках-каналах, які протікають у населених пунктах, ширину прибережних смуг не враховують, однак при цьому враховують наявність лісосадивних смуг.

Під час проектування генеральних планів населених пунктів з метою складання Схеми планувальних обмежень рекомендують використовувати зонування території з урахуванням таких факторів: зона підтоплення територій, зона поширення зсувних явищ, зона засоленості територій, зона активного карсту, зона дії сейсмічних та ударних хвиль. Результати досліджень засвідчили, що перед початком проектування повинні бути виявлені з потрібною повнотою: геологічна будова ділянки, гідрогеологічні умови, фізико-механічні властивості ґрунтів, інженерно-геологічні процеси і явища. З цією метою проводять інженерно-вишукувальні роботи.

Згідно з діючим порядком проектування для розроблення містобудівної документації, на основі якої здійснюють формування землекористувань населе-

них пунктів, інженерні вишукування проводять як для передпроектної документації. При цьому здійснюють аналіз матеріалів інженерно-геологічних вишукувань минулих років і тільки в разі їх недостатності виконують інженерно-геологічну зйомку в масштабах 1:25000-1:10000. За результатами цих робіт складають характеристику геоморфологічних умов; геологічної будови; сейсмічності; гідрогеологічних умов; складу, стану, фізичних властивостей виділених типів ґрунтів і їх просторової мінливості; розвитку геологічних процесів та інших факторів, які впливають на формування землекористувань. Застосування методів інженерного захисту територій та об'єктів потрібно обґрунтувати спеціальними техніко-екологічними розрахунками з урахуванням містобудівних вимог, потрібних заходів щодо охорони навколишнього середовища, раціонального функціонального використання територій.

Література

1. Золотарев Г.С. Методика инженерно-геологических исследований / Г.С. Золотарев. – М. : Изд-во МГУ, 1990. – № 5. – 384 с.
2. Коломенский Н.В. Инженерная геология / Н.В. Коломенский. – К. : Изд-во "Вища шк.", 1964. – 496 с.
3. Клошниченко С.С. Соціально-економічні основи планування та забудови міст / С.С. Клошниченко. – К. : Вид-во "НДІП містобудівання", 1999. – 87 с.
4. Держком. України у справах містобудування і архітектури, Наказ № 44, 1992.
5. Матеріали облдержадміністрації 2012 р., № 591

Надіслано до редакції 16.02.2016 р.

Ходан Н.Н., Зубик С.В. Методы инженерной защиты сложных ландшафтных территорий при застройке населенных пунктов

Освещены проблемы особенностей планирования и застройки населенных пунктов в сложных геологических условиях. Предложено применение инженерной защиты от опасных стихийных явлений. Определены и обоснованы опасные стихийные процессы ликвидации их последствий на территории населенных пунктов. Во многих городах и селах Прикарпатья произошли значительные изменения инженерно-геологических и гидрогеологических условий строительства и эксплуатации зданий и сооружений, распространились опасные геологические процессы: увеличилась площадь просадок земной поверхности над отработанными шахтными полями, создались карстовые ямы, активизировались оползни и овраги, увеличилась площадь засоленных и подтопленных земель. С целью предотвращения разрушения зданий и сооружений нужно осуществлять инженерные меры относительно территорий и объектов, предотвращение, устранение или снижение до допустимого уровня негативного влияния действующих и потенциально возможных негативных геологических процессов.

Ключевые слова: геологические явления, гидрогеологические условия, геологические процессы, карстовые ямы, оползни, изыскания, мероприятия контрфорсы, антисейсмические пояса, ландшафт, территория.

Khodan M.M., Zubyk S.V. Some Methods of Engineering Protection of Complex Landscape Areas during Settlements Development

The paper highlights the problems and peculiarities of planning settlements development in difficult geological conditions suggesting the use of artificial protection from dangerous natural phenomena. The main purpose is to identify and study dangerous natural processes of elimination of their consequences for residential areas. In many Carpathian towns and villages significant changes in geological, engineering and hydrogeological conditions for the construction and operation of buildings and structures have occurred. Some dangerous geological processes intensified and spread. They are supposed to be the following: increased area of surface subsidence exhaust the earth's surface over mine fields; were created karst pits were

created; landslides and ravines appeared; the area of saline and waterlogged land increased. In order to prevent the destruction of building structures it is necessary to carry out engineering measures for facilities and territories, prevention, elimination or reduction to an acceptable level the negative impact of existing and the potential negative geological processes. The results obtained showed that the solution to this problem in the Carpathian is appropriate engineering measures to protect against natural disasters and geological processes.

Keywords: geological phenomena, hydrogeological conditions, geological processes, karst pits, landslides, surveys, events buttresses, anti-seismic zones, landscape area.

УДК 621.317.3

РОЗРОБЛЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНОЇ МОДЕЛІ ЧАСТОТНОГО АНАЛІЗАТОРА ІМПЕДАНСУ ПРЯМОЇ ДІЇ

Ю.В. Хома¹, Р.М. Івах², І.Д. Питель³

Проаналізовано структуру та особливості вимірювального каналу засобів вимірювання імпедансу на базі активних вимірювальних перетворювачів. Для оцінювання точності вимірювального каналу частотного аналізатора імпедансу розроблено метрологічну модель вимірювального каналу, яка не тільки враховує основні джерела похибок та відображає структуру вимірювальних перетворень, але й наочно показує основні джерела похибок і місця їх локалізації і відображає при цьому їхній взаємозв'язок. На основі проведеного аналізу встановлено найістотніші джерела похибок та запропоновано методи зменшення їх впливу.

Ключові слова: імпеданс, вимірювання імпедансу, частотні аналізатори імпедансу, активні вимірювальні перетворювачі, метрологічна модель вимірювального каналу, похибки вимірювання імпедансу.

Аналіз стану тематики та постановка задачі. Вимірювання імпедансу є актуальною задачею для багатьох галузей наукової та практичної діяльності: хімічної, медичної, екологічної, сільськогосподарської, поліграфічної тощо [1-6]. При цьому опосередковано здійснюється вимірювання та контроль різноманітних фізичних величин (вологості, тиску, корозії тощо), якщо відома залежність цієї величини від імпедансу. Оскільки реальні досліджувані об'єкти можна описати за допомогою багатоеlementних схем заміщення, тому їхні параметри можна визначити тільки шляхом опрацювання результатів вимірювання складників імпедансу на низькій частоті. Для реалізації цього завдання використовують частотні аналізатори імпедансу (ЧАІ), основними вимогами яких є: стабільність метрологічних характеристик вимірювального каналу в широкому частотному діапазоні, висока швидкодія, швидке переналаштування частоти зондувального сигналу з потрібним кроком, прив'язка результатів вимірювання імпедансу до поточного значення частоти, забезпечення високої роздільної здатності за виділення активної і реактивної складових частин імпедансу.

Серед методів синтезу ЧАІ перспективним є побудова ЧАІ з використанням засобів прямого цифрового синтезу (DDS) та цифрового опрацювання сигналів, типову структурну схему якого представлено на рис. 1.

¹ асист. Ю.В. Хома, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка";

² доц. Р.М. Івах, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка";

³ доц. І.Д. Питель, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка"