

ГЕОДИНАМІКА ТЕРЕБЛЕ-РІЦЬКОГО ТЕХНОГЕННОГО ПОЛІГОНУ

На основі результатів комплексного аналізу даних геодезичних вимірів і геологічного вивчення території Теремле-Ріцької дериваційної гідроелектростанції створена геодинамічна модель взаємодії інженерних споруд та геологічного середовища. Викладені рекомендації для проведення моніторингу геодинамічних процесів.

Ключові слова: геодезичний моніторинг; геологічне середовище; складчастість; кліважна тріщинуватість; деформації.

Постановка проблеми

Геологічне середовище (ГС) – це верхня частина літосфери, яка знаходиться під впливом прямої або опосередкованої техногенної діяльності. ГС складається з твердої, рідкої та газоподібної фаз і характеризується цілим рядом фундаментальних властивостей, таких як: мінливість, неоднорідність, анізотропія, симетрія, дискретність та організаційність [Белый, Попов, 1975; Рудько, Гамеляк, 2003]. Перші три властивості з наведеного переліку визначають динаміку ГС – тобто мінливість у фізичному часі (реальному часі), яку найбільш ефективно можна досліджувати за допомогою геодезичних вимірів.

Результати реконструкції геодинамічних процесів різного рівня на території Теремле-Ріцького техногенного полігону розглядаються у даній статті.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Висвітлення питань взаємодії інженерних споруд та геологічного середовища знаходимо у публікаціях [Демедюк, Третяк, 1992; Демедюк та ін., 1993; Кульчицький, 2008; Черняга, 2000].

На території Теремле-Ріцького техногенного полігону сучасні рухи земної поверхні фіксуються повторними геодезичними спостереженнями [Третяк та ін., 2008; Третяк, Сідоров, 2008]. Серед них виділяються короткоперіодичні деформації, які залежать від коливання рівня води у водосховищі, і довготривалі деформації, які, по суті справи, є результатом перших. Загальне зміщення окремих точок напірного трубопроводу (рис. 1) виникло внаслідок багаторазового повторення цього процесу (стиску – розтягу) та неповною його зворотністю у зв'язку з частковим заповненням тріщин солями та карбонатами, які випадають з водного розчину [Кульчицький, 2008].

На деформації дериваційного тунелю вказують зміщення, зафіксовані геодезичними вимірами на напірному трубопроводі та порталі водоприймача. У різних режимах роботи ГЕС напірний трубопровід піддається інтенсивному стиску, що призводить до дуже нерівномірного розподілу напружень уздовж нього та досить інтенсивного його зміщення [Третяк та ін., 2008; Грицюк, Третяк, 2008].

На південний схід від дериваційного трубо-

проводу портал водоприймача теж зміщується у бік водосховища, про що знаходимо інформацію у щорічних звітах ГНДЛ-18 інституту геодезії НУ “Львівська політехніка” [Третяк, Сідоров, 2008].

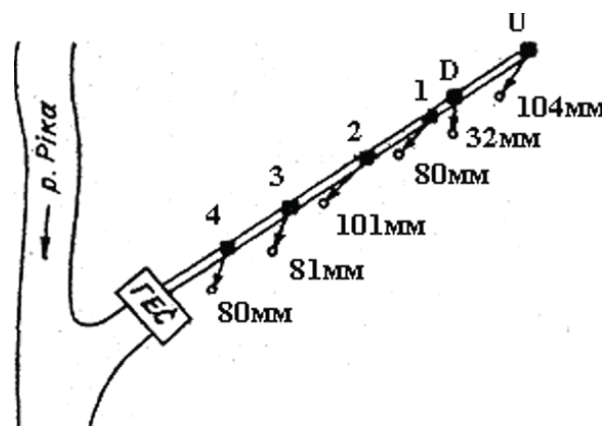


Рис. 1. Схема напірного трубопроводу з відображенням зміщень окремих його елементів за період експлуатації ГЕС (середнє зміщення трубопроводу становить 79,7 мм, на рис. 3 воно відображене у вигляді вектора $\sum u_1$)

Структурно-геологічні особливості будови території ГЕС дозволяють виділити уздовж дериваційного трубопроводу складчасті структури з різним нахилом осьових поверхонь [Кульчицький, 2009]. У місцях перетину осьових поверхонь складок з трубопроводом спостерігається прояв свищів підземних вод та руйнування його стінок, що викликається інтенсивною тріщинуватістю (кліважем) гірських порід.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми

Часткове пояснення взаємодії інженерних споруд та геологічного середовища Теремле-Ріцького техногенного полігону знаходимо у публікаціях працівників ГНДЛ-18 і співавторів [Третяк та ін., 2008; Грицюк, Третяк, 2008; Демедюк, Третяк, 1992; Демедюк та ін., 1993]. Не вирішеним є питання комплексної інтерпретації взаємодії зміщень, зафіксованих геодезичними методами на інженерних спорудах Теремле-Ріцької ГЕС, з особливостями геологічної будови та новітніми тектонічними рухами.

Постановка завдання

Мета даних досліджень – інтерпретація геодинамічних процесів Тербле-Ріцького техногенного полігону (рис. 2) на локальному (мікродинаміка) та регіональному (макродинаміка) рівнях.

Виклад основного матеріалу

Як впливає з геологічного розрізу, уздовж дериваційного трубопроводу досить чітко виділяються складчасті структури з різним нахилом осевих поверхонь. У місцях перетину осевих поверхонь складок з трубопроводом спостерігається прояв свищів підземних вод та руйнування його стінок (рис. 3), що викликається інтенсивною тріщинуватістю уздовж осей складок (кліважем) та більш інтенсивною рухливістю блоків гірських порід. Сукупна дія таких процесів викликає загальний розтяг дериваційного трубопроводу, який відбувається в місцях зон закладання кліважних тріщин при насиченні водою гірських порід.

Заповнення масиву гірських порід водою у нормальному режимі експлуатації відбувається двома шляхами: 1) шляхом просочування вод водосховища крізь його правий берег; 2), шляхом просочування вод через свищі у стінках дериваційному тунелю (в експлуатаційному режимі ГЕС дебіт води на вході у трубопровід становить $18\text{ м}^3/\text{с}$, а на виході $9\text{ м}^3/\text{сек.}$). Другий варіант насичення гірських порід водою, очевидно, має найбільший вплив на мікродинаміку гірського масиву, оскільки насичує його рівномірно вздовж трубопроводу, чого не можна очікувати у випадку першого варіанту, коли насичення водою відбувається уздовж берегової зони і, швидше за все, є утрудненим у зв'язку з значною замуленістю дна водосховища.

До проявів мікродинамічних процесів відносно короткоперіодичні (відповідають тривалості періодів заповнення та спуску води з водосховища) та довготривалі (п'ятдесятирічний період експлуатації ГЕС), які фіксуються повторними нівелюваннями та тахеометричними геодезичними спостереженнями [Третяк, Сідоров, 2008]. Короткоперіодичні деформації були детально описані раніше [Третяк та ін., 2008; Грицюк, Третяк, 2008]. Довготривалі деформації – розтяг дериваційного тунелю при заповненні кліважних тріщин солями та карбонатами є, по суті справи, результатом дії короткоперіодичних.

Механізм розтягу (довготривалі деформації) дериваційного тунелю, на нашу думку, можна порівняти з пружиною, у ролі якої виступають зім'яті у складки гірські породи, а зони кліважних тріщин створюють зусилля розтягу при заповненні їх водою. Оскільки стінки трубопроводу є дуже нещільні, про що було сказано вище, в робочому режимі станції відбувається

найбільш інтенсивне заповнення тріщин водою і, відповідно, найбільший розтяг дериваційного трубопроводу. Тріщинуваті флішеві породи мають високу водопроникність і не можуть довго утримувати воду.

Очевидно, що насичується підземними водами частина гірських порід уздовж тунелю у вигляді вузької смуги, яка відображена на карті умовно, без підтвердження даними (яких, на жаль, немає) про характер поверхні дзеркала ґрунтових вод.

При розтягу дериваційного тунелю на північний захід від нього напірний трубопровід інтенсивно стискається (рис. 1), що призводить до його зміщення і дуже нерівномірного розподілу напружень уздовж нього [Третяк та ін., 2008; Грицюк, Третяк, 2008]. На південний схід від дериваційного трубопроводу портал водоприймача (рис. 2) теж зміщується у бік водосховища [Третяк, Сідоров, 2008].

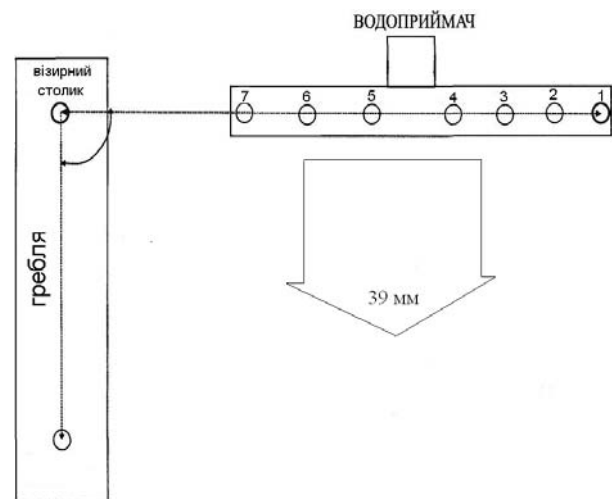


Рис. 2. Спрощена схема водосховища Тербле-Ріцької ГЕС з відображенням напрямку зміщень водоприймача (середнє зміщення пунктів 1–7 становить 39мм) за період експлуатації ГЕС (на рис. 3 ці зміщення відображені у вигляді вектора Dr_2)

Зусилля розтягу спрямовані перпендикулярно до залягання площин кліважних тріщин (рис. 3). Якщо сумарні зміщення зобразити у вигляді вектора \sum , то вектори зміщень, зумовлені структурними особливостями (Str) і зміщення уздовж дериваційного трубопроводу (Dr), займуть положення, показане на цьому рисунку. Власне таку конфігурацію паралелограма векторів деформацій ми побудували, виходячи з того, що кут між напрямком сумарного зміщення напірного трубопроводу (\sum_1) (підтверджений геодезичними вимірами) та напрямком зміщень, викликаних структурними особливостями геологічної будови (Str_1), складає біля 30° . Величини векторів деформацій Dr_1 і Str_1 зна-

ходимо, розв'язавши трикутники паралелограма зміщень, виходячи з відомого розміру вектора Sum1 (79 мм). У випадку порталу водоприймача фактично виміряною (високоточне нівелювання) деформацією є вектор Dr2 (39 мм), а паралелограм зміщень, враховуючи ту ж саму струк-

турну складову, лише спрямовану у протилежний бік, має вигляд, аналогічний побудованому для напірного трубопроводу, але спрямований у протилежний бік. Величини векторів зміщень напірного трубопроводу та порталу водоприймача відображені у таблиці 1.

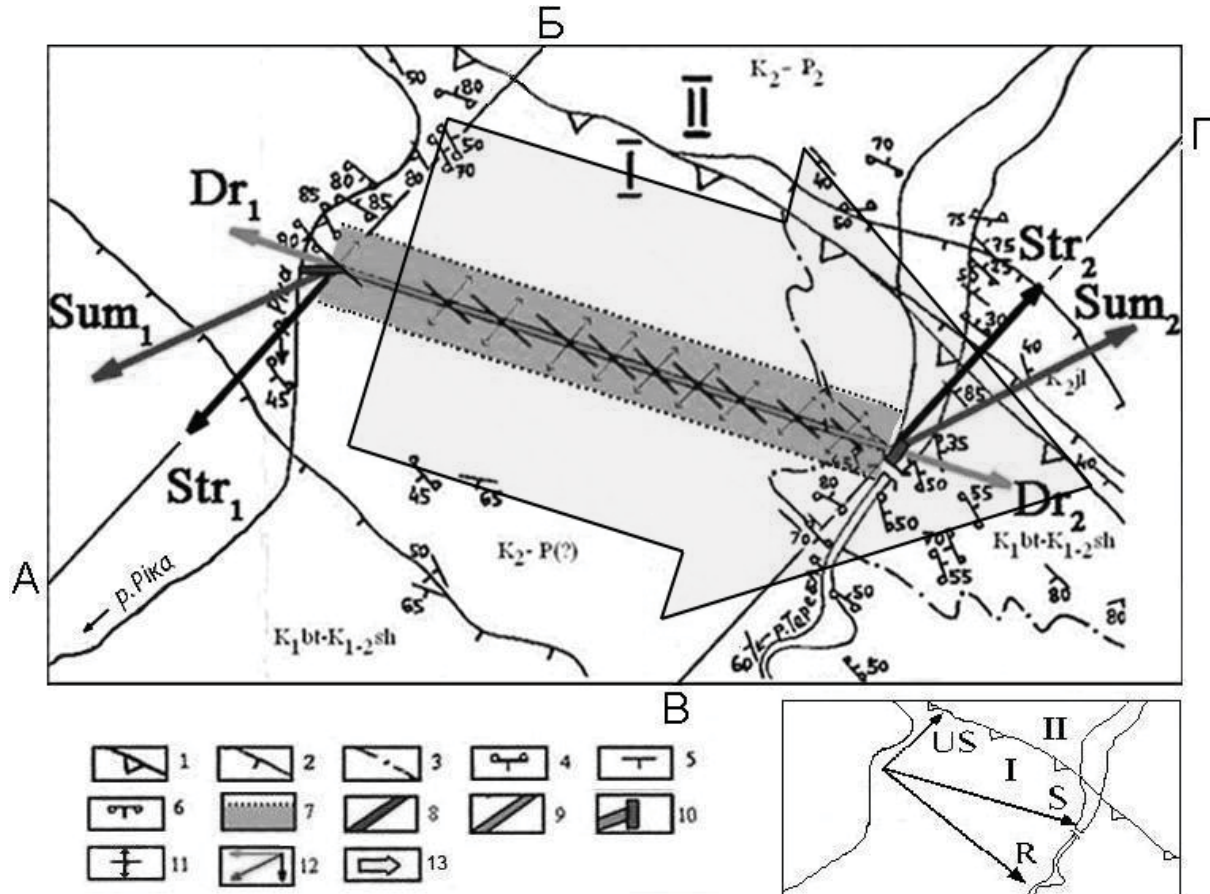


Рисунок 3. Схема геодинаміки території Теребле-Ріцького техногенного полігону.

Тут: Геологічні границі: 1) Крупний насув – границя між Поркулецькою (I) і Дуклянською (II) зонами; 2) Локальні насуви (границі між окремими скибами); 3) Літологічні границі між фаціальними різновидами гірських порід. Елементи залягання шарів гірських порід: 4) Нахилене залягання з встановленою підшоною пласта; 5) Нахилене залягання з невідновленою підшоною пласта; 6) Перевернуте залягання з встановленою підшоною пласта; гідрогеологічне позначення: 7) Зона обводнення гірських порід. Інженерні споруди ГЕС: 8) Напірний трубопровід; 9) Дериваційний тунель; 10) Портал водоприймача. Прояви мікродинаміки: 11) Місцезнаходження зон кліважної тріщинуватості уздовж дериваційного тунелю (стрілки вказують напрям розширення тріщин); 12) Вектори зміщень напірного трубопроводу та порталу водоприймача. Прояви макродинаміки: 13) Напрямок загального зміщення Українських Карпат, який на додатковій схемі відповідає вектору S та складається з двох складових – насувної (US) та ротаційної (R).

Сумарний розтяг дериваційного тунелю, очевидно, складатиме суму довжин двох векторів Dr1 і Dr2 по обидва боки від нього, тобто біля 80 мм.

Причиною описаних вище зміщень дериваційного тунелю є сили, спрямовані чітко перпендикулярно простягання складчастих структур Українських Карпат, і працюють вони за принципом стиск – розтяг синхронно наповненню та спрацюванню водосховища. Тобто при заповненні кліважних тріщин водою відбува-

ється їх незначне розширення, і це, як видно з рис. 3, викликає ступінчастий характер зміщення окремих частин тунелю та гірських порід навколо нього. Загальне зміщення окремих точок напірного трубопроводу виникло внаслідок багаторазового повторення цього процесу (стиску – розтягу) та неповною його зворотністю у зв'язку з частковим заповненням тріщин солями та карбонатами, які випадають з водного розчину.

Залишкові зміщення за більш ніж 50-річний

період експлуатації станції на окремих опорах напірного трубопроводу досягають 104 мм (рис. 1).

Таблиця 1
Величини векторів загального зміщення напірного трубопроводу (1) та порталу водоприймача (2), викликані розтягом дериваційного тунелю та розтягом складчастих структур.

Вектори загального зміщення	Вектори розтягу дериваційного тунелю	Вектори розтягу складчастих структур і кліважних тріщин
Sum1 = 79 мм (виміряна)	Dr1 = 30 мм (обчислена)	Str1 = 60 мм (обчислена)
Sum2 = 100 мм (обчислена)	Dr2 = 39 мм (виміряна)	Str2 = 78 мм (обчислена)

Таким чином, до мікродинаміки Теремле-Ріцького техногенного полігону відносно локальні зміщення, спричинені взаємодією масиву гірських порід та трьох основних інженерних споруд ГЕС: напірного трубопроводу, дериваційного тунелю та порталу водоприймача. За тривалістю прояву ці зміщення поділяються на короткотривалі (відповідають тривалості заповнення або осушення водойми), та довготривалі (п'ятдесятилітній період експлуатації греблі). Заміри короткотривалих зміщень проводились лише на напірному трубопроводі [Грицюк, Третяк, 2008], їх амплітуда досягає 10 мм.

Довготривалі мікрозміщення зафіксовані геодезичними вимірами тільки на напірному трубопроводі та на порталі водоприймача (табл. 1).

Макродинаміка Теремле-Ріцького полігону на глобальному рівні проявляється у вигляді загального зміщення Карпатської геосинклінальної системи (рис. 3) та формуванні насувів у реальному часі. Зміщення Українських Карпат фіксується незначною кількістю GPS-станцій. Найближчою до досліджуваної території є перманентна станція "Ужгород". Загальне регіональне зміщення за даними цієї станції, відображене на рис. 3 великою стрілкою, має південно-східне спрямування, яке майже збігається з простяганням дериваційного трубопроводу.

Швидкості зміщень, зафіксовані GPS-станцією "Ужгород", становлять біля 1,5 см/рік. У глобальному масштабі зміщення Карпато-Динарид відбувається у складі євразійської плити, але якщо брати до уваги регіональну складову – Українські Карпати, то у їх складі можна виділити окремі напрямки деформацій, зумовлені різними причинами.

Загальне зміщення Українських Карпат слід розглядати (рис. 3) як взаємодію двох векторів, один з яких відповідає напрямку насуву сегменту Українських Карпат на північний схід,

а другий уздовж його простягання на південний схід. На додатковій схемі рис. 3 загальне зміщення позначене символом S, насувна складова – US і ротаційна уздовж простягання Карпат – R. Ротаційна складова спричиняє закручування Карпат за годинниковою стрілкою, що, очевидно, і стало причиною кільцеподібної будови цієї структури.

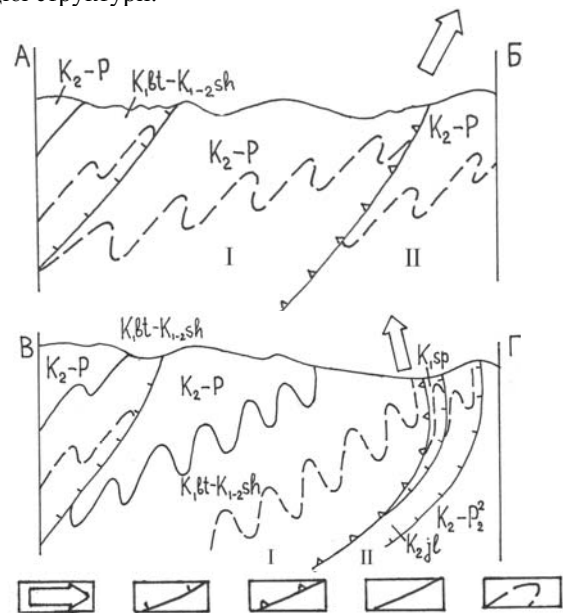


Рис. 4. Геологічні розрізи, які відображають характер деформацій у чоловій частині Поркулецької (I) зони при насуванні її на Дуклянську (II) у реальному часі.

Тут: 1) Напрямок зміщення (видавлювання) гірських порід по площині насуву Поркулецької зони. 2) Конфігурація площин насувів між окремими скибами. 3) Конфігурації площин насувів між тектонічними зонами. 4) Границі між літофаціальними різновидами гірських порід. 5) Характер складчастості всередині окремих структурних елементів.

Такі зміщення українського сегменту Карпат, очевидно, матимуть вплив на всі без винятку покривні структури, які і в даний час продовжують насуватись одна на одну. Амплітуду зміщень окремих покривів, виходячи з наявних даних, визначити неможливо, але їм можна дати якісну характеристику. Зокрема, характер зміщень у чоловій частині Поркулецького покриву, де знаходиться Теремле-Ріцький техногенний полігон, залежатиме від конфігурації площини насуву, який розділяє Поркулецьку та Дуклянську зони.

Відповідно до зроблених нами на основі даних геологічної карти побудов (рис. 4), залягання площини насуву по лініях АБ і ВГ (рис. 3) значно відрізняється.

При формуванні насувів у реальному часі зміщення гірських порід відбуватимуться з проковзуванням по площинах насувів вгору, але з певними відмінностями – по лінії АБ з нахилом

на північний схід, а по лінії ВГ – на південний захід, що призводитиме до незначного “скручування” трубопроводу. Такі складні різноспрямовані деформації наростатимуть у міру формування насувів і викликатимуть значні напруження і зміщення у спорудах Тербле-Ріцького техногенного полігону. Моніторинг деформацій для їх кількісної оцінки та прогнозу необхідно здійснювати шляхом проведення серії повторних тахеометричних та GPS-вимірів.

Висновки

1. Деформації, зафіксовані геодезичними вимірами на території Тербле-Ріцького техногенного полігону, відносимо до прояву двох рангів геодинамічних процесів: 1) локальних (мікродинамічних), які призводять до короткотривалих та довготривалих зміщень; 2) регіональних (макродинамічних), які є наслідком сучасного продовження тектонічної активності (зокрема формування насувів) Карпато-Динарської складчастої системи.
2. Короткотривалі (кілька днів, тижні) локальні деформації зафіксовані на спорудах Тербле-Ріцької гідроелектростанції, які спрацьовують за схемою стиск-розтяг і мають зворотний характер, пов'язані прямою залежністю з коливанням рівня води у водосховищі. Заміри короткотривалих зміщень проводились лише на напірному трубопроводі – їх амплітуда досягає 10 мм.
3. Довготривалі (п'ятдесятилітній період експлуатації ГЕС) локальні деформації, зафіксовані на напірному трубопроводі та порталі водоприймача, є сумою залишкових мікрозміщень, викликаних короткотривалими рухами. Незворотність цих деформацій пов'язана з частковим заповненням тріщин та проміжків між шарами гірських порід солями та карбонатами при періодичному їх насиченні ґрунтовими водами. Максимальна амплітуда зміщень за час експлуатації ГЕС досягає 104 мм.
4. Регіональні геодинамічні процеси в сегменті Українських Карпат розглядаємо як взаємодію спрямованих у різні боки складових: насувної (US) – північно-східної, ротаційної (R) – південно-східної і результуючої (S), спрямованої на схід – південно-східному напрямку. Найбільший вплив на територію ГЕС має насувна складова, яка призводить до утворення різноспрямованих напружень у лобовій частині Поркулецького покриву, тобто до “скручування” дериваційного трубопроводу, яке наростатиме у реальному часі в міру подальшого формування насуву.
5. Для моніторингу мікродинамічних (локальних) процесів, зокрема відносних зміщень інженерних споруд Тербле-Ріцької ГЕС, рекомендуємо маркування максимальної кількості характерних точок на їх поверхні та на прилеглий території для проведення періодичних замірів

високоточними геодезичними методами.

6. Для моніторингу макродинамічних (регіональних) процесів рекомендуємо аналогічні виміри у двох напрямках, які перпендикулярні до простягання Поркулецького насуву і захоплюють крайні точки Тербле-Ріцького техногенного полігону. Отримані дані дадуть можливість порівняти взаємне зміщення Поркулецької та Дуклянської тектонічних зон та дати кількісну і прогнозну оцінку деформаціям, які виникають при формуванні насувів у реальному часі.

Література

- Белый Л.Д., Попов В.В. Инженерная геология. – М.: Стройиздат, 1975. – 312 с.
- Грицок Т.Ю., Третяк К.Р. Моніторинг напружень напірного трубопроводу Тербле-Ріцької ГЕС // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2008. – Вип. II – С. 146–157.
- Демедок Н.С., Третяк К.Р. О Рикском тектоническом разломе Карпат // Геодезія, картографія и аэрофотосъемка. – 1992. – Вип. 54. – С. 27–34.
- Демедок М.С., Сідоров І.С., Третяк К.Р. Вплив Рікського тектонічного розлому на деформації напірного трубопроводу Тербле-Ріцької ГЕС // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 1993. – Вип. 55. – С. 14–22.
- Кульчицький А. Структурно-геологічні особливості території Тербле-Ріцької ГЕС та оцінка їх впливу на деформації дериваційного трубопроводу геологічними і геодезичними методами // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2009. – Вип. II. – С. 44–48.
- Рудько Г.І., Гамеляк І.П. Основи загальної інженерної та екологічної геології. – Чернівці: Букрек, 2003. – 423 с.
- Тербле-Ріцька ГЕС: 50 // Вісник Карпат. – 2006. – С. 58.
- Третяк К., Кульчицький А., Грицок Т. Дослідження деформацій напірного трубопроводу Тербле-Ріцької ГЕС з врахуванням інженерно-геологічних умов // XIII Міжнар. наук.-техн. симпоз. “Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GPS і GIS-технології”; Алушта, 2008 р. – Львів. – 2008. – С. 49–53.
- Третяк К.Р., Сідоров І.С. Визначення зміщень інженерних споруд Тербле-Ріцької ГЕС. Технічна інформація. – НУ “Львівська політехніка”, 2008. – 24 с.
- Черняга П.Г. Передбачення деформаційних процесів на геодинамічних полігонах АЕС з врахуванням динаміки гідрогеологічних умов // Инж. геодез. – 2000. – Вип. 43. – С. 208–215.

ГЕОДИНАМИКА ТЕРЕБЛЕ-РИКСКОГО ТЕХНОГЕННОГО ПОЛИГОНА

К.Р. Третяк, А.Я. Кульчицкий, И.С. Сидоров

На основании результатов комплексного анализа данных геодезических измерений и геологического изучения территории Теребля-Рикской деривационной гидроэлектростанции создана геодинамическая модель взаимодействия инженерных сооружений и геологической среды. Изложены рекомендации для проведения мониторинга геодинамических процессов.

Ключевые слова: геодезический мониторинг; геологическая среда; складчатость; кливажная трещиноватость; деформации.

GEODYNAMICS OF TEREBLJA-RIKSKY TECHNOGENIC RANGE

K.R. Tretjak, A.Ya. Kulchitsky, I.S. Sidorov

On the basis of results of the complex analysis of the given geodetic measurements and geological studying of territory of Tereblja-Riksky derivational hydroelectric power station the geodynamic model of interaction of engineering constructions and the geological environment is created. Recommendations for carrying out of monitoring of geodynamic processes are offered.

Key words: geodetic monitoring; the geological environment; folds; cracks; deformations.