

УДК 550.3

DOI: 10.18524/2303-9914.2020.2(37).216574

**У. О. Дзьоба**, аспірант

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
кафедра геотехногенної безпеки та геоінформатики,  
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна  
ulianadzoba@gmail.com

## **ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ПЕМПЗ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ СТАНУ ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА ПРИ ВИРІШЕННІ ПРИКЛАДНИХ ІНЖЕНЕРНИХ ЗАДАЧ**

На сьогоднішній день все більш актуальним є питання пошуку ефективних методів моніторингу стану інженерних споруд та геологічних умов у місцях їх локалізації. Для вирішення прикладних інженерно-екологічних, геолого-геофізичних та гідрогеологічних задач широке застосування знаходить метод природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПЕМПЗ). У представленій роботі наведено широкий огляд та виконано аналіз проведених раніше робіт, пов'язаних із застосуванням методу ПЕМПЗ для вивчення стану геологічного середовища. Охарактеризовано основні риси методу ПЕМПЗ та коротко представлено фізичні передумови виникнення імпульсного електромагнітного випромінювання у товщі гірських порід. На прикладі двох різнопланових об'єктів підтверджено ефективність використання методу ПЕМПЗ для вирішення задач інженерно-геологічного характеру.

**Ключові слова:** метод ПЕМПЗ, геологічне середовище, напружено-деформований стан, карстові процеси.

### **ВСТУП**

Моніторинг стану інженерних споруд та різноманітних геологічних умов в місцях їх дислокації є необхідним технічним процесом, оскільки безпосередньо пов'язаний, з одного боку, із забезпеченням передумов для виконання інженерними спорудами відповідних виробничих, інженерно-технічних та інших функцій, контролем за станом їх безпечної експлуатації і, як наслідок, збереженням здоров'я та життя людини, а з іншого боку, створенням умов для недопущення виникнення аварійних ситуацій та скороченням витрат на ліквідацію їх наслідків. Пошук методів, які могли б за незначних витрат ідентифікувати можливі небезпечні зони, пов'язані з експлуатацією інженерних споруд, а також прогнозувати динаміку їх розвитку, є актуальним питанням. В останні роки для вирішення прикладних інженерно-екологічних, геолого-геофізичних та гідрогеологічних задач широке застосування знаходить метод природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПЕМПЗ). З огляду на ряд переваг

цього методу, все більш актуальними стають дослідження, спрямовані на накопичення емпіричної бази даних і досвіду їх обробки та інтерпретації.

На сьогоднішній день у науково-технічній літературі можна знайти дедалі більше публікацій, що присвячені визначенню ефективності методу ПЕМПЗ для розв'язання конкретних геологічних та інженерно-технічних задач. Враховуючи складність та комплексність фізичних процесів, що передують виникненню електромагнітного випромінювання в гірських породах, проведення чисельних експериментальних досліджень є необхідним, оскільки сприяє накопиченню теоретичних і практичних знань.

Область застосування методу ПЕМПЗ є надзвичайно широкою. Перш за все це пов'язано з високою мобільністю методу, відносно низькою вартістю виконання робіт та швидкістю інтерпретації даних. Однак часом отримані результати можуть бути доволі неоднозначними і потребують серйозного наукового підґрунтя для адекватної та коректної їх інтерпретації. У зв'язку з цим метод знаходиться на етапі експериментального дослідження, а методики вимірювання та інтерпретації потребують подальшого розвитку.

Серед представлених у науковій спільноті досліджень надзвичайно актуальними видаються ті, що спрямовані на виявлення причинно-наслідкових зв'язків між зміною геологічного середовища та параметром напруженості електромагнітного поля. Зокрема, у праці [10] автори застосували методи стохастичного аналізу для інтерпретації результатів геофізичних досліджень методом ПЕМПЗ та лабораторних досліджень фізичних властивостей ґрунтів. У результаті математичної обробки даних побудовано моделі, що характеризують розподіл щільності відкладів за глибиною. Згідно з отриманими результатами для елювіальних відкладів підтверджено зв'язок закономірної зміни фізичного стану глин в залежності від приналежності до зон геодинамічної активності (коефіцієнт кореляції змінюється від 0,47 до 0,68).

При дослідженнях методом ПЕМПЗ важливо враховувати якомога більше факторів, які здатні здійснювати вплив на складову сигналу електромагнітного випромінювання. Серед чинників, що визначають якість спостережень, варто виділити варіації електромагнітного поля в часі. У роботі [12] автори досліджували особливості зміни ПЕМПЗ на контрольній точці в часі. Отримані результати свідчать про значну мінливість параметру електромагнітного поля, що в свою чергу обумовлює необхідність впровадження чіткої методики нормування даних та зведення їх до єдиних умов.

Враховуючи зв'язок між величиною інтенсивності імпульсного електромагнітного поля та механічними напруженнями, очевидним є вплив геологічних процесів на складову електромагнітного поля. Зокрема, у роботах [3, 6, 8, 13] підтверджена ефективність використання методу ПЕМПЗ у комплексі з іншими геофізичними методами для визначення стану зсувонебезпечних ділянок. Також встановлено, що результати досліджень можуть свідчити не тільки про зсувну активність в цілому, а й дозволяють отримати інформацію про стадії

розвитку зсувів. У праці [9] обґрунтована доцільність використання методу ПЕМПЗ у наземно-свердловинному варіанті для моніторингу стану зсувних процесів, як на стадії їх утворення, так і на стадії розвитку. У роботах [2, 5] авторами запропоновано застосування методу ПЕМПЗ при дослідженнях осідання земної поверхні внаслідок карстових процесів у межах відпрацьованих родовищ калійної солі.

Серед інших слід виділити досвід використання методу ПЕМПЗ на зсуво-небезпечних ділянках газопроводів. Зокрема, у роботі [7] проведено експериментальні дослідження вимірювання напруженості електромагнітного поля за різних заповнень газосховища, тобто за різних внутрішніх тисків. У результаті цього вдалось встановити, що будь-яке втручання в рівновагу гірського масиву провокує утворення вогнищ механічних напружень.

Безумовно варто зазначити, що на сьогоднішній день здійснено великий обсяг досліджень у даній галузі, що дозволяє цілком ствердно говорити про позитивний досвід застосування методу ПЕМПЗ для визначення напруженого стану геологічного середовища. Разом з тим недостатньо публікацій теоретичного та прикладного характеру, котрі б описували застосування методу саме для вирішення питань, пов'язаних із порушенням умов експлуатації, а тим більше деформаціями, порушенням цілісності та руйнуванням будівель, споруд, інженерних комунікацій внаслідок динамічних процесів у геологічному середовищі. Саме тому встановлення причинно-наслідкових зв'язків та дослідження розвитку таких процесів є актуальним завданням сьогодення.

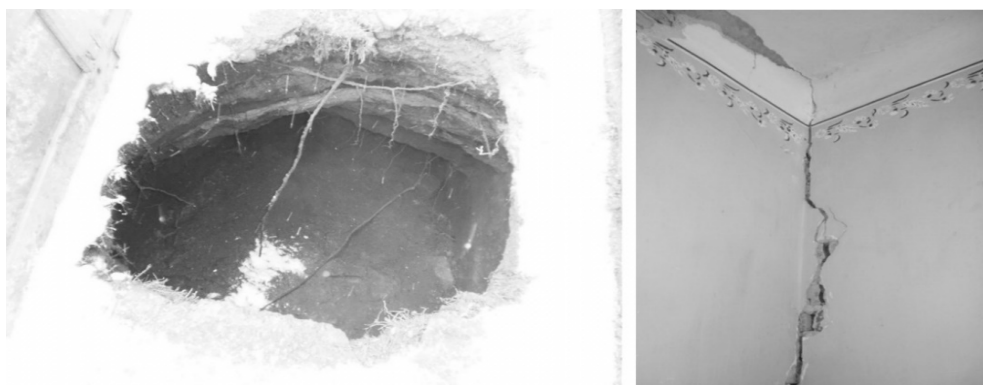
Метою представленої роботи є дослідження динаміки і прогнозування стану геологічного середовища в умовах зростання техногенного навантаження та доведення ефективності застосування методу ПЕМПЗ при вирішенні задач, пов'язаних з порушенням умов експлуатації інженерних об'єктів.

## **МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

У даній роботі розглянуто два об'єкти: приміщення школи у Рогатинському районі Івано-Франківської області та корпус Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. Передумовою проведення геофізичних робіт на території школи у Рогатинському районі був розвиток карстових процесів, що призвів до пошкоджень та деформацій будівлі закладу. Завдання геофізичних досліджень полягало у визначенні впливу утвореного карстового провалу на напружено-деформований стан гірських порід та виконанні аналізу стану території задля прогнозування подальшого розвитку карстопровальних процесів.

Активізація процесів утворення карсту, провалів та просідань денної поверхні на території Івано-Франківської області, і зокрема в Рогатинському районі, була пов'язана з інтенсивними атмосферними опадами, що зумовило значне підвищення рівня підземних вод.

У даному конкретному випадку це призвело до утворення карстопровальних явищ під приміщенням школи. Зокрема, провал глибиною близько 1,5 м та діаметром близько 1 м утворився біля південної сторони школи (рис. 1). Як наслідок, первинний стан будівлі зазнав змін – чітко спостерігались глибокі тріщини з внутрішньої сторони школи. Зважаючи на високу імовірність подальшого розвитку деформаційних процесів, експлуатація будівлі була частково припинена.



*Рис. 1. Провал на території школи та спричинені ним пошкодження будівлі*

Наступним об'єктом, розглянутим у даній роботі, є ділянка корпусу Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. Передумовою проведення геофізичних робіт на даній території було утворення позовжніх тріщин у зовнішніх та внутрішніх стінах корпусу (рис. 2).



*Рис. 2. Деформації будівлі корпусу №1 Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу*

Згідно з історичними фактами, ще у 20 роках минулого століття на території теперішнього корпусу ІФНТУНГ проходило русло потічка Млинівка, котрий північніше впадав у річку Бистриця [1] (рис. 3). Під час будівництва корпусу № 1 у 1984 – 1987 роках, виконувались роботи щодо укріплення масиву для закладання фундаменту. Однак останніми роками спостерігаються активні деформаційні процеси, що дають підстави стверджувати про розвиток негативних геологічних явищ у масиві гірських порід, на якому закладений фундамент. Завданням виконаних робіт на цьому об'єкті було визначення зміни напружено-деформованого стану масиву з метою оцінки інженерної стійкості пласта порід, на якому знаходиться фундамент будівлі. Дослідження мали моніторинговий характер. Вперше роботи були виконані у 2016 році та включали спостереження методами вертикального електричного зондування (ВЕЗ) та природного імпульсного електромагнітного поля Землі.

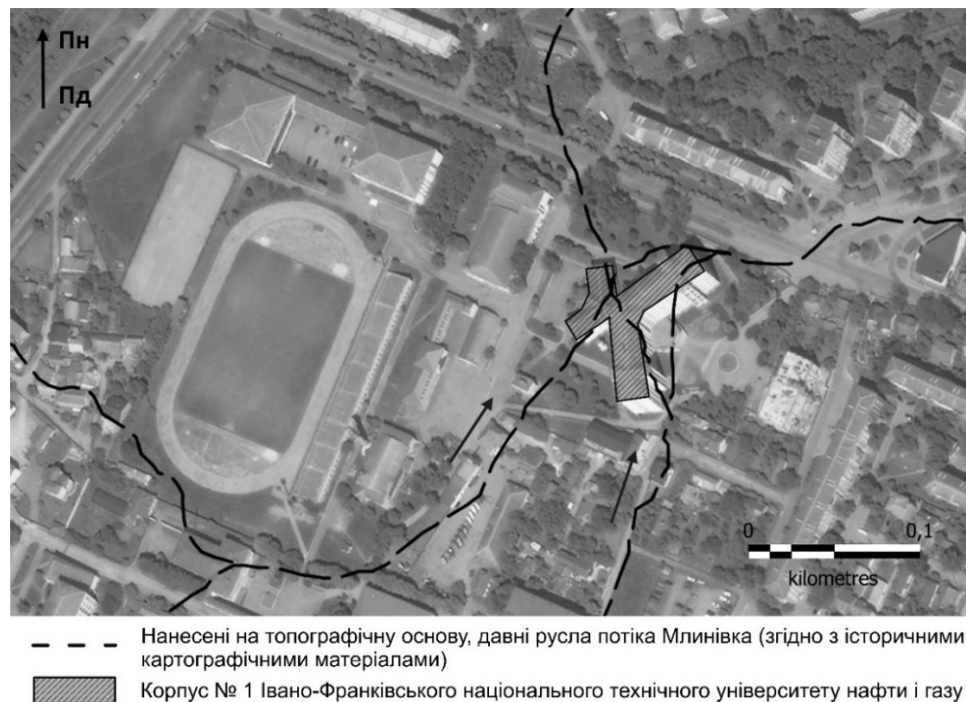


Рис. 3. Оглядова карта ділянки дослідження з нанесеними межами колишнього русла потічка Млинівка

Школа, що є об'єктом досліджень, знаходиться у селі Юнашків Рогатинського району Івано-Франківської області, де місцевість горбиста, а в долині протікає потічок, що впадає в р. Гнила Липа, відстань до якої 3 км. З геологічної точки зору територія дослідження розташована в приконтактовій зоні Волино-Подільської окраїни Східно-Європейської платформи та Передкарпатсько-

го прогину. У геологічному відношенні у формуванні відкладів брали участь породи крейдової та неогенової систем. Корінними породами в межах досліджуваної території є гіпсоангідрити з домішками карбонатних порід тираської світи, які залягають під четвертинними відкладами, а на північ від ділянки досліджень виходять на поверхню. Зверху породи тираської світи можуть перекриватись сірими глинами косівської світи. Нижче неогенових порід залягають породи крейдової системи, представлені мергелями луквицької світи. Оскільки територія складена легкорозчинними гірськими породами, тут розвинуті карстові процеси, а саме сульфатно-карбонатний покритий карст, прояви якого зафіксовані у межах даного населеного пункту та навколишніх сіл [4].

Територія міста Івано-Франківськ розташована в межах стикування Більче-Волицької зони Передкарпатського прогину Карпатської складчастої області з південно-західною окраїною Волино-Подільської плити. Відомо, що неогенові породи представлені карпатським і баденським ярусами міоцену та залягають на розмитій поверхні верхньокрейдяних порід. Утвори верхнього баденію представлені косівською світою, яка поділяється на нижньо- та верхньокосівські відклади. У верхньокосівських утворення переважають глини сірі, карбонатні з прожилками алевролітів і пісковиків. Ці породи займають більшу частину території міста та знаходяться безпосередньо під четвертинними відкладами [1].

Ефективність та надійність використання методу ПЕМПЗ для вирішення задач геологічного спрямування є доволі суперечливим питанням у наукових колах. Враховуючи складність природи електромагнітного випромінювання, важко однозначно кількісно оцінити вплив зміни стану геологічного середовища на формування параметра природного електромагнітного випромінювання. Однак науково доведеним фактом залишається те, що при деформації та руйнуванні мікро-структур відбувається концентрація заряджених дефектів, що обумовлює появу заряду та різниці потенціалів [14].

Сучасні уявлення про емісію електромагнітного поля мінералами та гірськими породами були розроблені Воробйовим О. А., який вперше висунув гіпотезу, що частина електромагнітного поля, що спостерігається в земній корі, обумовлена механо-електричними перетвореннями енергії [Воробйов, 1980]. Тобто, під впливом механічних деформацій відбуваються зміни стану гірських порід. Неоднорідність мінералів, що входять у склад гірських порід, за наявності зовнішнього джерела енергії спричинює збудження структур та призводить до появи надлишкової енергії і, як наслідок, генерування електромагнітних імпульсів.

Результати лабораторних досліджень, що наведені у працях [14, 16], підтверджують виникнення імпульсів електромагнітного поля під час руйнування молекулярних структур. При цьому визначається закономірність, чим більше нанотріщин утворюється, тим більша кількість імпульсів може бути емітована. При розриві та деформації міжіонних зв'язків у тріщинах виникає поляризація.

Будь-яке відносне переміщення стінок поляризованих тріщин призводить до генерування імпульсів електромагнітного поля. Оскільки зміна положення стінок тріщин регулюється орієнтацією самих тріщин, напрям електромагнітного поля безсумнівно теж пов'язаний з їх розташуванням та простяганням.

У праці [15] на основі фундаментальних рівнянь фізики представлено зв'язок потенціалу та геомагнітного напруження: аномалії геомеханічних напружень призводять до аномалій потенціалу та відповідно до аномалій імпульсного електромагнітного випромінювання.

Окремо слід виділити монографію [11], у якій розглядаються теоретичні передумови виникнення електромагнітних полів у земній корі та прикладні аспекти виявлення природного імпульсного електромагнітного поля Землі для вирішення задач інженерної геології, а також прогнозування та пошуків рудних родовищ корисних копалин у різних геологічних умовах. З часів праць О. Воробйова, опублікованих у 80-х роках, наскільки відомо це перша фундаментальна монографія, присвячена методу ПЕМПЗ.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

### *Результати досліджень на території школи.*

Геофізичні вимірювання методом ПЕМПЗ з метою дослідження напружено-деформованого стану будівлі були виконані як у середині приміщення школи так і назовні, у межах прилеглої до школи території. Дослідження виконувались двома радіохвильовими індикаторами напружено-деформованого стану (РХІНДС-ПМ), один з яких встановлювався стаціонарно, для відслідковування варіацій електромагнітного поля, інший – для профільних спостережень. Конструктивно антени виконані за принципом магнітних антен приймачів. Антени приладу забезпечують прийом і частотну селекцію імпульсів ПЕМПЗ за трьома координатами (X, Y, Z). Антена X була орієнтована впоперек профілів, приблизно з півночі на південь, антена Y – з заходу на схід по профілях, антена Z – по вертикалі.

Площинна зйомка методом ПЕМПЗ виконувалась профілями довжиною 84 м кожен. Крок по профілю становив 3 м. У залежності від умов місцевості, відстань між профілями складала 5 – 7 м. Загальна площа охопленої ділянки становила  $50 \times 84 \text{ м}^2$ . Карстовий провал, представлений на рисунку 1, знаходився у західній частині поблизу південної стіни школи (рис. 4). Крім того, у західному крилі школи спостерігалось значне просідання підлоги.

Перед тим, як аналізувати результати, слід зазначити, що школа знаходиться на схилі з підняттям рельєфу впоперек простягання будівлі, тобто рельєф понижується приблизно на південь, і це відповідає напряму фільтрації підземних вод. Згідно з конфігурацією установки вимірювання, антена X в основному фіксує сигнал, пов'язаний з напруженнями східно-західного спрямування, Y – північно-східного, а Z – є універсальною антеною, що вловлює сигнали зі всіх напрямів, у тому числі з надр під кутом до антени.

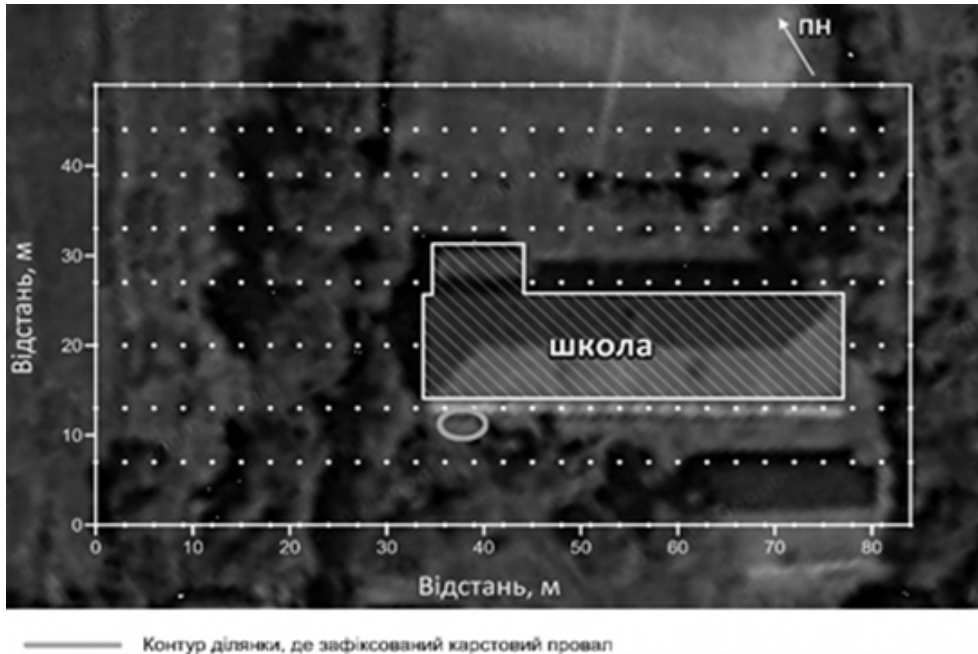


Рис. 4. Карта території досліджень методом ПЕМПЗ

Отримані результати представлені на рисунку 5. Виходячи з попередньо наведених міркувань щодо ролі антен у інформативності, насамперед слід розглядати карту інтенсивності ПЕМПЗ за антеною Z, яка враховує механічні порушення у всіх напрямках. Як і слід було очікувати, інтенсивність є підвищеною на всій території, що займає школа, а також на прилеглих до стін ділянках, тому що в цілому споруда здійснює тиск на гірські породи, що піддаються впливу карстових процесів. Такий тиск слід вважати фоновим і на рисунку 5 для антени Z він відповідає інтенсивності 2000 – 4000 імпульсів за секунду. Інтенсивність понад 4000 імп/с слід вважати аномальною. Західна аномалія 1 приближена до крила школи, центр її відповідає активній стадії просідання, пов'язаній з карстоутворенням, що відображено в деформації будівлі (просідання та розтріскування підлоги над карстовими пустотами). Східна аномалія 2 передую наступним деформаціям, які візуально поки що не спостерігаються. Слід відзначити зміщення аномалій в цілому на північ по відношенню до будівлі школи, що вочевидь пояснюється фільтраційним потоком, який проходить з півночі на південь і підпором, що утворився біля північної стіни школи (тут як і раніше вважаємо, що верх рисунків 4 і 5 приблизно відповідає півночі, а низ – півдню).

Наступною за інформативністю є антена Y, яка в основному повинна відображати деформації, що виникають під дією сил у напрямку північ-південь. Аномалії 1 і 2 співпадають з аномаліями за антеною Z. Аномалія 3 пов'язана з підвищеною фільтрацією та відкритим карстом уздовж дороги.



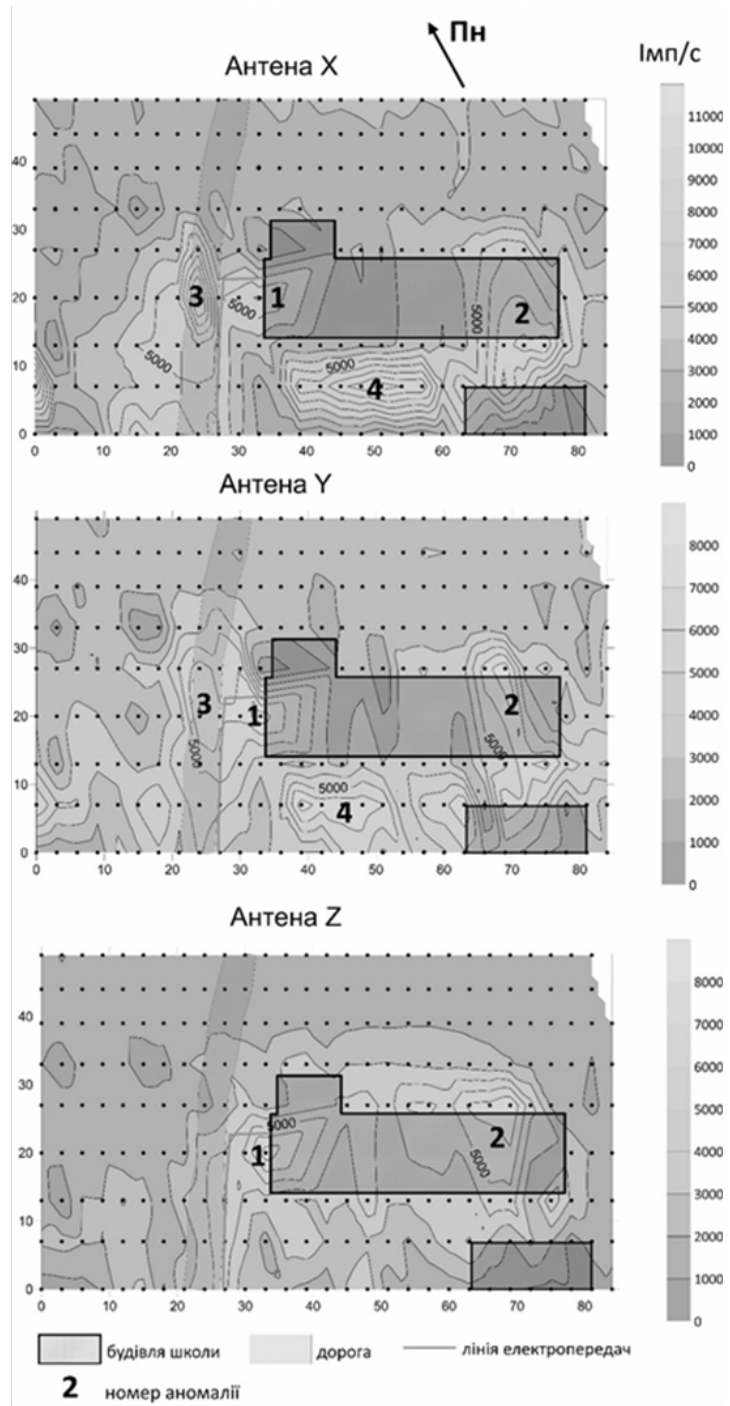


Рис. 5. Карта інтенсивності ПІЕМПЗ за результатами площинного спостереження

Аномалія 4 свідчить про початкову стадію деформацій порід на південь від школи. Відмітимо проміжок між аномаліями 1 і 4, який територіально відповідає карстовому провалу і свідчить про затухання (розвантаження деформації).

Розподіл аномалій за антеною X збігається з розподілом за антеною Y за конфігурацією, проте дещо відрізняється за інтенсивністю.

Отже, вимірювання методом ПЕМПЗ дозволили виявити напружено-деформовані зони території дослідження, які пов'язані з розвитком карстових процесів. Аналіз розподілу аномалій та їх інтенсивності свідчать, що територія не є стабільною і слід очікувати подальших проявів карсту та деформацій земної поверхні та будівлі.

*Результати досліджень на території корпусу університету.*

На території корпусу ІФНТУНГ дослідження проводились методами ВЕЗ та ПЕМПЗ. Вимірювання методом ВЕЗ дозволили встановити особливості геологічного розрізу будови даної території. На основі отриманих кривих вертикального електричного зондування та аналізу архівних матеріалів, було підтверджено, що у геологічному відношенні товща гірських порід представлена такими горизонтами: горизонт I – шар, складений ґрунтом, супіском та суглинком, обезводнений на час досліджень, середня потужність – 0,7 м, позірний електричний опір – 95 Ом·м; горизонт II – гальковий горизонт із піщаним заповнювачем, сухий на час досліджень, потужність у діапазоні 1,3 – 1,8 м, електричний опір – 335 Ом·м; горизонт III – в літології є аналогом горизонту II, відрізняється тим, що залягає нижче рівня підземних вод, потужність 1,6 – 2,1 м, електричний опір – 23 Ом·м; горизонт IV – шар мілкодисперсної пластичної зволоженої глини, потужність – 4,6 м, електричний опір – 3,1 Ом·м; горизонт V – консолідовані суглинки, електричний опір – 7,5 – 23 Ом·м.

На відміну від горизонту II, горизонт III характеризується значно нижчими значеннями електричного опору (близько 20 – 30 Ом·м) і відповідає частині галькового горизонту, у якому знаходяться підземні води. Варто зазначити, що корпус № 1 Університету побудований на перетинах давнього русла річки Млинівки. На даний час води цієї річки відведені у річку Бистрицю, однак алювіальні відклади залишилися. У період інтенсивних атмосферних опадів, при підвищенні рівня підземних вод, активізується живлення алювіальних порід. Це призводить до того, що піщана фракція виноситься з галькового горизонту, внаслідок чого він розущільнюється та, в подальшому, може зазнавати деформацій.

Низькі значення електричного опору четвертого горизонту, що залягає під галькою, свідчать про те, що глина зволожена, знаходиться у пластичному стані і при навантаженні легко деформується. Крім того, у зв'язку з літологічними умовами, верхня частина глинистого пласта поступово розмивається, а продукти розмиву виносяться. Це призводить до просідання будівлі.

Вимірювання методом ПЕМПЗ виконувались у 2016, 2018 та 2019 роках. Отримані результати дослідження представлені на рисунку 7, де в діапазоні

частот 2 – 50 кГц був облічений повний вектор електромагнітного поля, який вміщує у собі складові, отримані по всіх напрямках антен.

Метою вимірювання було встановлення зв'язку між деформаціями будівлі та інтенсивністю поля, а також можливості розвитку цих деформацій. Крім того, планувалось визначити, чи пов'язана активізація поля і відповідні деформації з літологічними умовами та атмосферними опадами.

Перший етап вимірювань (2016 р.) був виконаний наприкінці дощового періоду, коли спостерігалось підвищення рівня підземних вод. Прилад ПЕМПЗ зафіксував потужну аномалію електромагнітного поля, прилеглу до західного кута корпусу, де спостерігались найбільші деформації у вигляді тріщин на фасаді будівлі (рис.1). Рівень інтенсивності поля був надзвичайно високим і становив 70 000 імп/с. Друга протяжна аномалія інтенсивністю до 40 000 імп/с спостерігалась уздовж північної стіни.

З метою запобігання подальших деформацій були виконані наступні інженерні роботи: облаштовано водонепроникне вимощення для забезпечення активного водовідведення атмосферних вод від будівлі та виконано ремонт водостоків. Крім того, збудовано внутрішній металевий каркас у місці найбільших деформацій.

На графіках інтенсивності поля, виконаних у 2018 році, практично відсутні аномалії, які спостерігались раніше, а отже, поле можна вважати спокійним. Пояснення може бути наступним: по-перше, були виконані вищезгадані інженерні роботи, по-друге, вимірювання методом ПЕМПЗ у 2018 році проводилось в умовах пониженого рівня підземних вод, у зв'язку з наявністю посушливого періоду року.

У 2019 році під час весняних дощів з'явилися нові деформації (тріщини) на стінах аудиторії першого поверху. Аномалії ПЕМПЗ (рис. 6) приблизно підтверджують ті, що були виявлені у 2016 році, мало того, ці аномалії збільшились у лінійних розмірах. Отже причина пошкодження корпусу однозначна – це деформації, що пов'язані зі зміною напружено-деформованого стану масиву порід у зв'язку з надмірним зволоженням, суфозією супіщаного матеріалу, зволоженням глин і в цілому зменшенням механічної стійкості та несучих властивостей ґрунтів, на яких облаштовано фундамент будівлі.

Насамкінець слід зазначити, що виміри ПЕМПЗ виконувались у різних діапазонах частот, що дозволило пов'язати результати з глибинністю. Найбільш диференційованими є профілі, що відповідають глибинам зволоженого алювіального гальково-піщаного горизонту та припокрівельній частині підстиляючих глин.

## ВИСНОВКИ

У даній роботі представлено широкий огляд та проведено аналіз виконаних раніше робіт, пов'язаних із застосуванням методу ПЕМПЗ для вивчення стану геологічного середовища. Охарактеризовано основні риси методу ПЕМПЗ та

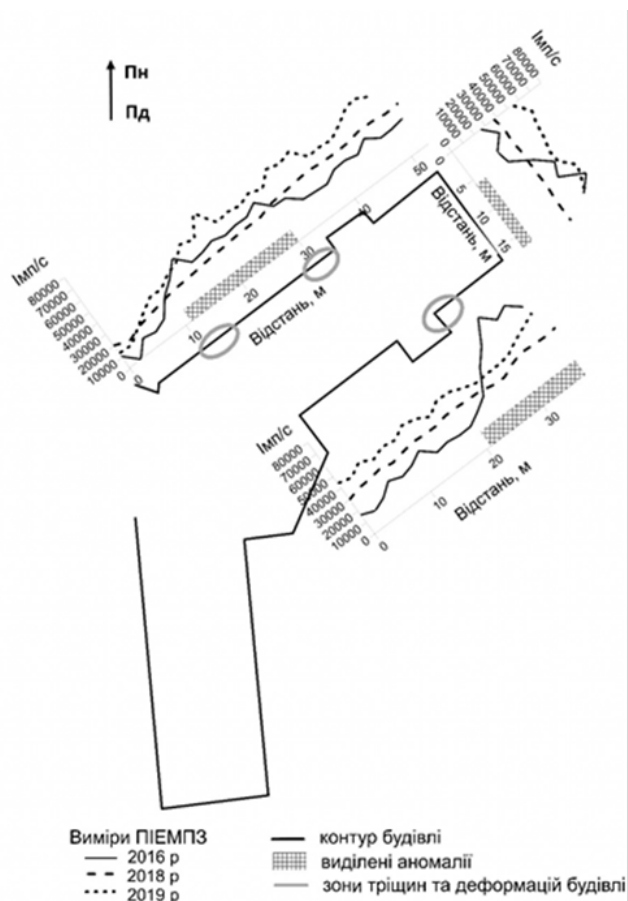


Рис. 6. Результати профільних спостережень методом ПІЕМПС

коротко представлено фізичні передумови виникнення імпульсного електромагнітного випромінювання у товщі гірських порід.

Розглянуто результати спостережень отримані під час дослідження напружено-деформованого стану гірських порід на території школи у селі Юнашків. Встановлено, що зона підвищеної інтенсивності електромагнітного випромінювання відповідає зоні, де спостерігаються тріщини. Зокрема, підтверджено вплив розвитку карстових процесів, які спричинюють механічні порушення, на інтенсивність імпульсного електромагнітного випромінювання.

Запропоновано використовувати метод ПІЕМПС для моніторингових спостережень щодо визначення стану будівлі корпусу ІФНТУНГ. Однозначно виділено причину пошкодження будівлі, а саме проектування на місці русла давньої річки, що призвело до втрати міцності порід за рахунок суфозійних процесів та розущільнення глинистих порід, що підстиляють фундамент, під час значних опадів з подальшою зміною напружено-деформованого стану, що відображається аномаліями електромагнітного поля.

Зважаючи на явні переваги методу ПЕМПЗ, до яких належать мобільність та невисока вартість проведення робіт, на прикладі двох різнопланових об'єктів, доведено, що метод ПЕМПЗ ефективно застосовувати при якісній оцінці напружено-деформованого стану масиву гірських порід для визначення стійкості інженерних споруд та виконання прогнозу розвитку деформаційних процесів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Адаменко О. М.* Екологія міста Івано-Франківська [Текст] / О. М. Адаменко Є. І. Крижанівський, С. М. Нейко, Г. Г. Русанов та ін. – Івано-Франківськ: «Сіверсія МВ», 2004. – 200 с.
2. *Багрій С. М.* Про необхідність комплексування геофізичних методів при дослідженні природно-техногенного карсту (на прикладі соляних родовищ Передкарпаття) [Текст]: дис. канд. геол. наук / С. М. Багрій. – Івано-Франківськ, 2016, –163 с.
3. *Бессмертный, А. Ф.* Комплексные геофизические исследования оползней и построение прогнозных моделей их активности (на примере Южного берега Крыма) [Текст]: дис. канд. геол. наук: 01.04.12 / А. Ф. Бессмертный. – Київ, 2004. – 177 с.
4. *Гаврилюк Я. М.* Звіт по регіональному і стаціонарному вивченню екзогенних геологічних процесів на території Тернопільської, Чернівецької та Івано-Франківської областей за 2001-2006 рр. [Текст] / Я. М. Гаврилюк, Я. Д. Губко та ін. // Звіт ЛГРЕ ДП «Західукргеологія». – Львів, 2006.
5. *Дешиця С. А.* Оцінка стану екологічно проблемних об'єктів Калуського гірничо-промислового району електромагнітними методами та їх моніторинг [Текст] / С. А. Дешиця, О. І. Підвірний, О. І. Романюк, Ю. В. Садовий, В. В. Коляденко, Л. Г. Савків, Ю. С. Мишишин // Наука та інновації, 2016. – № 5. – С. 47 – 59.
6. *Ковальчук С. П.* Поставь свой дом правильно (Практика геофизического метода ЕИЭМПЗ) [Текст] / С. П. Ковальчук. – Одесса: Черноморье, 2003. –112 с.
7. *Крижанівський Є. І.*, Прогнозування та попередження зсувів на гірських трасах газопроводів [Текст] / Є. І. Крижанівський, В. П. Рудко, В. М. Саломатін, Л. Є. Шкіца // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ, 2004. – № 3. – С. 5 – 8.
8. *Кузьменко Е. Д.* Дослідження зсувних процесів геофізичними методами [Текст]: монографія / Е. Д. Кузьменко, А. Ф. Безсмертний, О. П. Вдовина, І. В. Крив'юк, В. Д. Чебан, Л. В. Штогрин. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2009. – 294 с.
9. *Кузьменко Е. Д.* Ефективність методу природного імпульсного електромагнітного поля землі в задачі моніторингу зсувних процесів на схилах Київського водосховища [Текст] / Е. Д. Кузьменко, І. В. Крив'юк, І. В. Кузнецов, В. П. Зінченко // Геодинаміка, 2012. – № 2, – С. 109 – 122.
10. *Мокрицкая Т. П.* Некоторые возможности интерпретации напряженности единого импульсного электромагнитного поля земли при создании моделей полей параметров физических свойств [Текст] / Т. П. Мокрицкая, А. И. Ковригин // Вісник Дніпропетровського університету, серія «Геологія, Географія», 2014. – № 15. – С. 2 – 6.
11. *Пикареня Д. С.* Опыт применения метода естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ) для решения инженерно-геологических и геологических задач [Текст] / Д. С. Пикареня, О. В. Орлинская. – Днепропетровск: «СВИДЛЕР», 2009. – 120 с.
12. *Туманов В. В.* Електромагнітні дослідження методом ПЕМПЗ на зсувонебезпечній території Азовського узбережжя [Текст] / В. В. Туманов, О. В. Савченко, М. Ю. Богак, О. А. Ялпуга // Наукові праці УкрНДМІ НАН України, 2010. – № 6. – С. 203 – 215.
13. *Чебан В. Д.* Комплекс геофізичних методів прогнозування зсувів на прикладі Закарпаття [Текст]: дис. канд. геол. наук: 04.00.22 / В. Д. Чебан. – Івано-Франківськ, 2003. – 183 с.
14. *Frid V.* Fracture induced electromagnetic radiation [Text] / V. Frid, A. Rabinovitch, D. Bahat // Journal of Applied Physics, 2003. – Vol. 36(13). – P. 1620 – 1628.

15. Kuzmenko E. D. The depth range of the Earth's natural pulse electromagnetic field [Text] / E. D. Kuzmenko, S. M. Bagriy, U. O. Dzoba // *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 2018. – Vol. 27(3). – P. 466 – 477.
16. Reinhard O. Natural Electromagnetic Radiation (EMR) and its Application in Structural Geology and Neotectonics [Text] / O. Reinhard, G. Obermeyer, H. Obermeyer // *Journal Geological Society of India*, 2010. – Vol.75. – P. 278 – 288.

## REFERENCES

1. Adamenko, O. M., Kryzhanivskiy, Ye. I., Neiko, S. M., Rusanov, H. H. ta in. (2004), *Ekolohiia mista Ivano-Frankivska [Ecology of Ivano-Frankivsk city]*, Ivano-Frankivsk: "Siversiia MV". 200 p.
2. Bahrii, S. M. (2016), Pro neobkhdnist kompleksuvannia heofizychnykh metodiv pry doslidzhenni pryrodno-tekhnohennoho karstu (na prykladi solianykh rodovyshch Peredkarpattia) [About necessity of the complexing geophysical methods in natural and industrial karst investigation (the example of salt deposits in Precarpathians)], *Candidate's thesis*, Ivano-Frankivsk, 163 p.
3. Bessmertnyiy, A. F. (2004), Kompleksnyie geofizicheskie issledovaniya opolzney i postroenie prognoznykh modeley ih aktivnosti (na primere Yuzhnogo berega Kryima) [Complex geophysical studies of landslides and their activity forecast models construction (on the Crimea Southern coast example)], *Candidate's thesis*. Kyiv, 177 p.
4. Havryliuk, Ya. M., Hubko, Ya. D. ta in. Zvit po rehionalnomu i stacionarnomu vyvchenniu ekzohennykh heolohichnykh protsesiv na terytorii Ternopil'skoi, Chernivets'koi ta Ivano-Frankivskoi oblastei za 2001-2006 rr [Report on regional and stationary study of exogenous geological processes in Ternopil, Chernivtsi and Ivano-Frankivsk regions for 2001-2006], LHRE, Lviv.
5. Deshchyt'sia, S. A., Pidvirnyi, O. I., Romaniuk, O. I., Sadovyi, Yu. V., Koliadenko, V. V., Savkiv, L. H., Myshchysyn, Yu. S. (2016), Otsinka stanu ekolohichno problemnykh ob'ektiv Kaluskoho hirnycho-promyslovoho raionu elektromagnitnyy metodamy ta yikh monitorynh [Evaluation of the state of the ecologically problematic mining and industrial objects in Kalush region by electromagnetic methods and their monitoring], *Nauka ta innovatsii*, vol. 5, pp. 47 – 59.
6. Kovalchuk, S. P. (2003), *Postav svoy dom pravilno (Praktika geofizicheskogo metoda PIEMPZ) [Practice of the geophysical method NIEMFE]*, Odessa: Chernomore, 112 p.
7. Kryzhanivskiy, Ye. I., Rudko, V. P., Salomatin, V. M., Shkitsa, L. Ye. (2004), Prohnozuvannia ta poperedzhennia zsuiv na hirs'kykh trasakh hazoprovodiv [Forecasting and prevention of gas pipelines mountain routes landslides], *Exploration and development of oil and gas fields*, vol. 3, pp. 5 – 8.
8. Kuzmenko, E. D., Bezsmertnyi, A. F., Vdovyna, O. P., Kryviuk, I. V., Cheban, V. D., Shtohryn, L. V. (2009), *Doslidzhennia zsuivnykh protsesiv heofizychnyimi metodamy [Landslide processes investigation by geophysical methods]*. Ivano-Frankivsk: IFNTUOG, 294 p.
9. Kuzmenko, E. D., Kryviuk, I. V., Kuznetsov, I. V., Zinchenko, V. P. (2012), Efektyvnist metodu pryrodnoho impulsnoho elektromagnitnoho polia zemli v zadachi monitorynhu zsuivnykh protsesiv na skhylakh Kyivskoho vodoskhovyshcha, [Efficiency of the natural pulsed electromagnetic field of the Earth method for monitoring of landslide processes on the Kyiv reservoir slopes], *Geodynamics*, vol. 2, pp. 109 – 122.
10. Mokritskaya, T. P., Kovrigin, A. I. (2014), Nekotoryie vozmozhnosti interpretatsii napryazhennosti edinogo impulsnoho elektromagnitnoho polya zemli pri sozdanii modeley poley parametrov fizicheskikh svoystv [Some possibilities of pulsed electromagnetic field of the earth intensity interpretation at creation physical properties parameters models fields], *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, vol. 15, pp. 2 – 6.
11. Pikarenia, D. S., Orlinskaya, O. V. (2009), *Opyit primeneniya metoda estestvennogo impulsnoho elektromagnitnoho polya Zemli (PIEMPZ) dlya resheniya inzhenerno-geologicheskikh i geologicheskikh zadach [Experience in applying the method of the natural pulsed electromagnetic field of the Earth (NIEMFE) to solve engineering-geological and geological problems]*, Dnepropetrovsk: "SVIDLER", 120 p.

12. Tumanov, V. V., Savchenko, O. V., Bohak, M. Yu., Yalputa, O. A. (2010), Elektromahnitni doslidzhennia metodom PIEMPZ na zsvonebezpechnii terytorii Azovskoho uzberezhzhia, [Electromagnetic research on the Azov coast landslide territory by the NIEMFE method], *Naukovi pratsi UkrNDMI NAN Ukrainy*, vol. 6, pp. 203 – 215.
13. Cheban, V. D. (2003), Kompleks heofizychnykh metodiv prohnozuvannia zsvuviv na prykladi Zakarpattia [Complex geophysical methods of the landslides prognosing (case studies from the Transcarpathians)], *Candidate's thesis*, Ivano-Frankivsk, 183 p.
14. Frid, V., Rabinovitch, A., Bahat, D. (2003), Fracture induced electromagnetic radiation, *Journal of Applied Physics*, vol. 36(13), pp. 1620 – 1628.
15. Kuzmenko, E. D., Bagriy, S. M., Dzoba, U. O. (2018), The depth range of the Earth's natural pulse electromagnetic field, *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, vol. 27(3), pp. 466 – 477.
16. Reinhard, O. Greiling and Hennes Obermeyer. (2010), Natural Electromagnetic Radiation (EMR) and its Application in Structural Geology and Neotectonics, *Journal Geological Society of India*, vol.75, pp. 278 – 288.

Надійшла 03.11.2020 р.

**У. О. Дзьоба**, аспірант

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
кафедра геотехногенної безпеки і геоінформатики,  
ул. Карпатська, 15, г. Івано-Франківськ, Україна  
ulianadzoba@gmail.com

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ЕИЭМПЗ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ПРИ РЕШЕНИИ ПРИКЛАДНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ**

### **Резюме**

На сегодняшний день все более актуальным является вопрос поиска эффективных методов мониторинга состояния инженерных сооружений и геологических условий в местах их локализации. Для решения прикладных инженерно-экологических, геолого-геофизических и гидрогеологических задач широкое применение находит метод естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ). В представленной работе приведен широкий обзор и выполнен анализ проведенных ранее работ, связанных с применением метода ЕИЭМПЗ для изучения состояния геологической среды. Охарактеризованы основные особенности метода ЕИЭМПЗ и кратко представлены физические предпосылки возникновения импульсного электромагнитного излучения в массиве горных пород.

**Ключевые слова:** метод ЕИЭМПЗ, геологическая среда, напряженно-деформированное состояние, карстовые процессы.

**U. O. Dzoba**

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,  
Department of Geotechnogenic Safety and Geoinformatics,  
Karpatska St., 15, Ivano-Frankivsk, Ukraine  
ulianadzoba@gmail.com

**ADVANTAGES OF NIEMFE METHOD IN GEOLOGICAL STATE MONITORING WHEN SOLVING APPLIED ENGINEERING PROBLEMS****Abstract**

**Problem Statement and Purpose** Finding effective methods for monitoring the state of engineering structures and geological conditions in their localization is an extremely urgent issue today. The method of natural impulse electromagnetic field of the Earth (NIEMFE) is widely used for the solution of applied engineering-ecological, geological, geophysical and hydrogeological problems. The purpose of this work is to study the dynamics and the geological environment forecasting in conditions of increasing man-made load and prove the effectiveness of NIEMFE method in solving problems related to the violation of the engineering facilities operating conditions.

**Data & Methods** Data from field observations conducted by employees of the Department of Geotechnogenic Safety and Geoinformatics of Ivano-Frankivsk National University of Oil and Gas were used to build the initial models. In particular, measurements by the NIEMFE method were performed on the territory of the school in the village Yunashkiv in the Rohatyn district and on the territory of the university building.

**Results** The efficiency of using the NIEMFE method for solving geological engineering problems is confirmed by the example of two diverse objects. The observations results obtained during the rocks stress-strain state study in the Yunashkiv village school in the Rogatyn district are considered. The NIEMFE method measurements allowed us to establish the stress-strain zones of the study area, which are related to the karst processes development. The analysis of the anomalies distribution and their intensities show that the territory is not stable and one should expect further karst manifestations and earth's surface and building deformation. The monitoring observation results by the NIEMFE method are presented in order to track the dynamics of the change in the the IFNTUOG building state. The reason for the building damage, namely the design on the ancient river bed site, which led to the rocks strength loss due to the suffusion processes and the decomposition of the clay rocks underlying the foundation was identified. The influence of significant rainfall on the stress-strain state change of the studied territory was confirmed. It is proved that the NIEMFE method is a promising method for studying the rock mass stress-strain state in terms of determining the engineering structures stability and providing the deformation processes forecast.

**Keywords:** the NIEMFE method, geological conditions, stress-strain state, karst processes.