

ГЕНЕРАЦІЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ІМПУЛЬСІВ В ГЛИНАХ ПІД ЧАС ЇХ НАВАНТАЖЕННЯ В ЛАБОРАТОРНИХ УМОВАХ

І.В. Чушкіна, ст.викл.

Кафедра експлуатації гідромеліоративних систем і технології будівництва, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, вул. С. Єфремова, 25, м. Дніпро, 49005, Україна;
orcid.org/0000-0003-1251-6664; e-mail: zalomiy80@gmail.com

Анотація. За результатами експериментальних досліджень виявлені основні закономірності розвитку амплітудно-частотних коливань електромагнітних імпульсів в ґрунтовій товщі під час її стиснення. Дані лабораторних досліджень обґрунтували можливість використання методу природного імпульсного електромагнітного поля Землі для діагностики технічного стану ґрунтових гідротехнічних споруд.

Ключові слова: метод природного імпульсного електромагнітного поля Землі, одометр, пухкі породи, глинисті ґрунти, електромагнітні імпульси, ґрунтові гідротехнічні споруди, діагностика технічного стану

Постановка проблеми. На сьогодні фільтраційні втрати з водонесучих мереж і регулюючих споруд перевищують 30 % [1], що перш за все обумовлено незадовільним технічним станом гідротехнічних споруд (ГТС).

Діагностика технічного стану ґрунтових гідротехнічних споруд (ГТС) сільськогосподарського призначення, що відноситься до класу наслідків відмови (відповідальності) СС-1 (незначні наслідки), проводиться зазвичай за допомогою візуального огляду у міжвегетаційний період, коли відсутня вода у зрошувальній системі (ЗС).

Пошук швидких маловитратних методів оцінки стану ґрунтових ГТС, а також виявлення на них ділянок, що потребують першочергового ремонту, є актуальними науково-практичними задачами, які відповідають пріоритетним напрямкам діючої Загальнодержавної цільової програми розвитку водного господарства та екологічного оздоровлення басейну річки Дніпро на період до 2021 року, затвердженої Верховною Радою України № 4836-VI від 24 травня 2012 р., а також відповідно до раніше діючої Державної програми запобігання і боротьби з підтопленням земель, затвердженої Постановою Кабінету Міністрів України № 545 від 29 квітня 2004 р., яка втратила чинність від 21.02.2007 р. Так, за результатами численних польових досліджень авторами [2-4] доведено ефективність застосування геофізичного методу природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПЕМПЗ) для виявлення зон обводнення та фільтрації в тілі ґрунтових ГТС. На жаль, на сьогодні немає науково-методологічного обґрунтування можливості використання методу природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПЕМПЗ) для дослідження геоелектричних полів, що виникають у пухких ґрунтових товщах.

В основі теоретичного обґрунтування методу ПЕМПЗ лежать дослідження Воробйова О.А. та ін. [5-10], які показали можливість існування в

земних надрах електричних полів, джерелами яких можуть бути розломи, розриви і тріщини, здатні генерувати при утворенні або активізації електричні заряди і поля.

Актуальність дослідження. Нині недостатньо вивчене питання генерації електромагнітних імпульсів (ЕМІ) в ґрунтових масивах, які є основним досліджуваним середовищем під час діагностики технічного стану ґрунтових ГТС зрошувальних систем за допомогою геофізичного методу ПЕМПЗ. Подібні ґрунтові товщі, як правило, представлені глинистими ґрунтами різної вологості та лежать в основі та дамбах обвалування регулюючих басейнів (РБ) і каналів зрошувальних систем.

Мета дослідження - експериментальне обґрунтування застосування методу ПЕМПЗ для виявлення зон розуцільнення і підвищеного обводнення в тілі малих ґрунтових гідротехнічних споруд та дослідження зміни амплітуди електромагнітних імпульсів під час передачі одноосного статичного навантаження на зразки глини в лабораторних умовах. Подібні експериментальні дослідження на ідеалізованій моделі є обґрунтуванням можливості оцінки технічного стану ґрунтових ГТС за допомогою методу природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПЕМПЗ).

Матеріали і методи дослідження. Для компресійних досліджень були відібрані біля регулюючого басейну Калинівської ЗС глини тверді в стані порушеної структури. Експерименти проводили на зразках глини як природної вологості, так і на зволожений. Перед початком та після закінчення компресійних випробувань за стандартними лабораторними методами визначали пористість і коефіцієнт пористості ґрунту, які є допоміжними характеристиками для побудови компресійних кривих.

Коефіцієнт пористості e_i в залежності від значень відносної деформації ε_i при відповідному тиску p_i розраховується за формулою:

$$e_i = e_0 - \varepsilon_i(1 + e_0), \quad (1)$$

де e_0 – початковий коефіцієнт пористості, ч. од.;

e_i – коефіцієнт пористості ґрунту, отриманий під час експерименту, ч. од.;

ε_i – усереднене значення відносної деформації ґрунту.

У лабораторії Дніпровського державного аграрно-економічного університету проводили дослідження зв'язку між впливом статичного навантаження на зразок глини на одометрі стандартної модифікації і виникненням електромагнітного збудження, яке реєструвалося за допомогою приладу МІЕМП-14/4 (серія «СІМЕЇЗ»). Спостереження ПЕМПЗ виконували за допомогою однієї антени, розміщеної вертикально вниз або горизонтально на відстані 15-20 см від одометра (рис. 1). Зйомка здійснювалася за таких параметрах приладу, однакових для кожного з положень антени: частота дискретизації – 50 кГц, тривалість вимірювання 0,2 с, коефіцієнт посилення сигналу – 10 В / мВ, рівень дискримінації – 2 мВ.

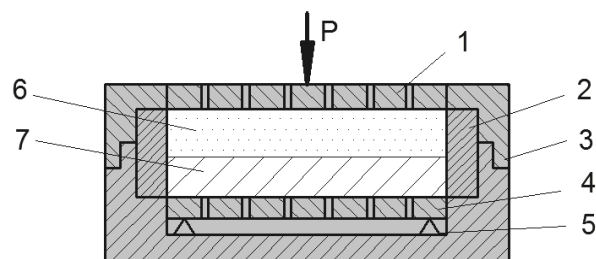
Враховуючи можливість одометру зразки ґрунтів піддавались навантаженню у відповідності до 10% реального тиску від шару води 4,2 м в наповненому РБ. Розмір прикладеного навантаження на підстилаючу ґрунтову

основу РБ отриманий як сума тисків від води і залізобетонних плит з урахуванням дії сили тяжіння і склав 47,89 кПа. Але під час періодичного наповнення басейну виникає динамічне навантаження на його дно і стінки, що враховується збільшенням статичного навантаження на 10%, тобто на зразки пухких глинистих ґрунтів подавалось навантаження 52,68 кПа.



Рис. 1 Зовнішній вигляд приладу МІЕМП-14/4 (1) з вертикально розташованою приймаючою антеною (2) під час одночасної фіксації ЕМІ та навантаження зразка глини на одометрі (3)

Експериментальні дослідження компресії зразків глини твердої проводили на одометрі стандартної модифікації (рис. 2) зі ступінчастим зростанням навантаження відповідно до основних положень ДСТУ Б В.2.1-4-96 (ГОСТ 12248-96). Основні деталі компресійного приладу такі: робоче кільце внутрішнім діаметром 87,6 мм і висотою 25 мм, циліндрична обойма, перфорований вкладиш під кільцем, піддон з ємністю для води, а також індикатор для вимірювання вертикальних деформацій зразка з ціною поділки 0,1 мм.



*Рис. 2 Схема випробування дозволожених зразків глини в одометрі:
1 – кришка; 2 – робоче кільце; 3 – циліндрична обойма; 4 – перфорований вкладиш під кільце; 5 – піддон з ємністю для води; 6 – перфорований вкладиш з водою; 7 – шар глини насипної щільності*

Експерименти починалися з засипки пухких ґрунтів природної вологості в жорстке металеве кільце. Збільшення вологості глини відбувалось на початку експерименту за рахунок розташування поверх ґрунту перфорованого поліетиленового пакету з насиченою водою губкою, що дозволяло дослідити закономірності зміни амплітуди ЕМІ під час насичення і розподілу води у

грунті.

Навантаження на зразки ґрунту передавались ступінчасто. Під час виконання першого компресійного експерименту тривалість кожного ступеня навантаження безпосередньо залежала від досягнення умов кожної стабілізації деформації ґрунту. Тривалість проведення наступних експериментів була зменшена, оскільки основною метою було дослідження закономірностей розвитку ЕМІ в глинах напруженого стану.

Результати представлені у вигляді компресійних кривих залежності відносного стиснення від часу експерименту $\varepsilon = f(t)$ з урахуванням зміни амплітуди ЕМІ (рис. 3-5).

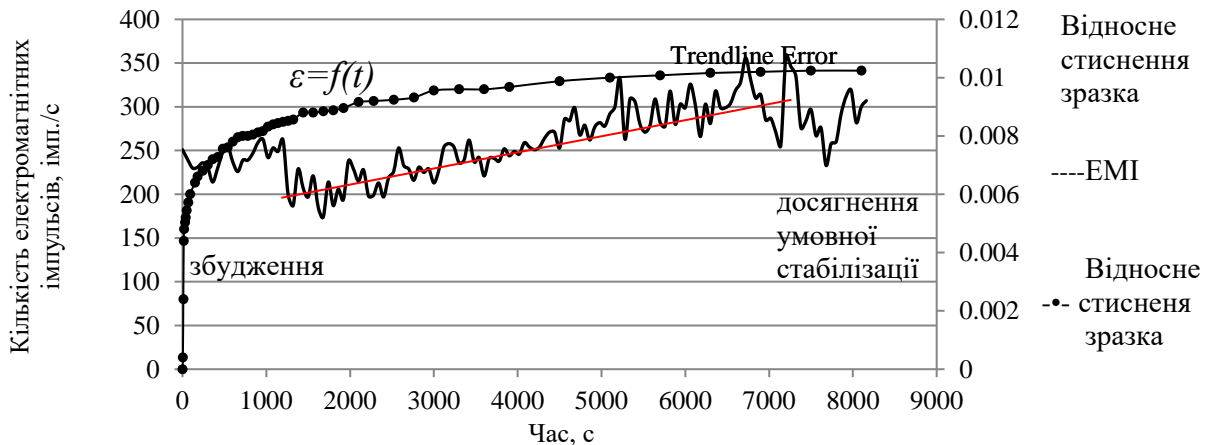


Рис. 3 Компресійна крива залежності $\varepsilon = f(t)$ при прикладеному навантаженні $p = 2,65$ кПа до зразка глини з одночасною фіксацією ЕМІ. Початок проведення першого експерименту, перший ступінь навантаження

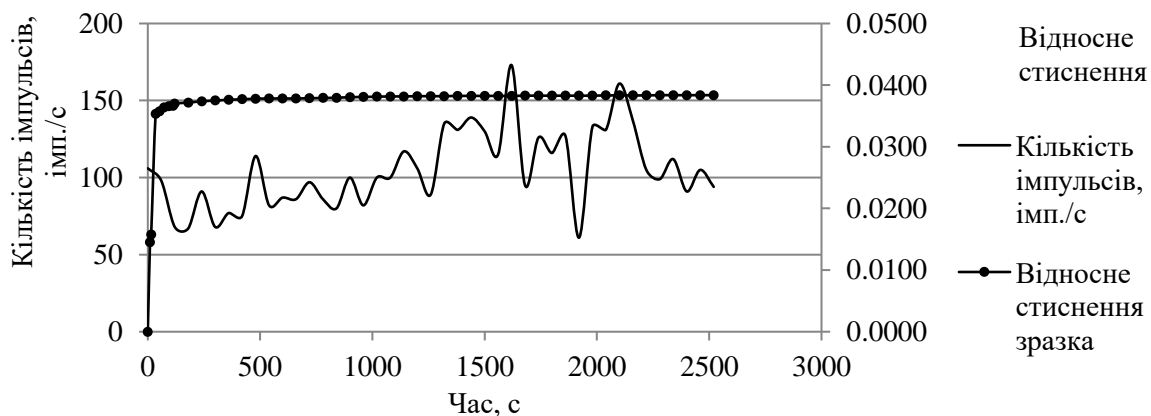


Рис. 4 Компресійна крива залежності $\varepsilon = f(t)$ при прикладеному максимальному навантаженні $p = 5,3$ кПа до зразка глини з одночасною фіксацією ЕМІ упродовж проведення експерименту

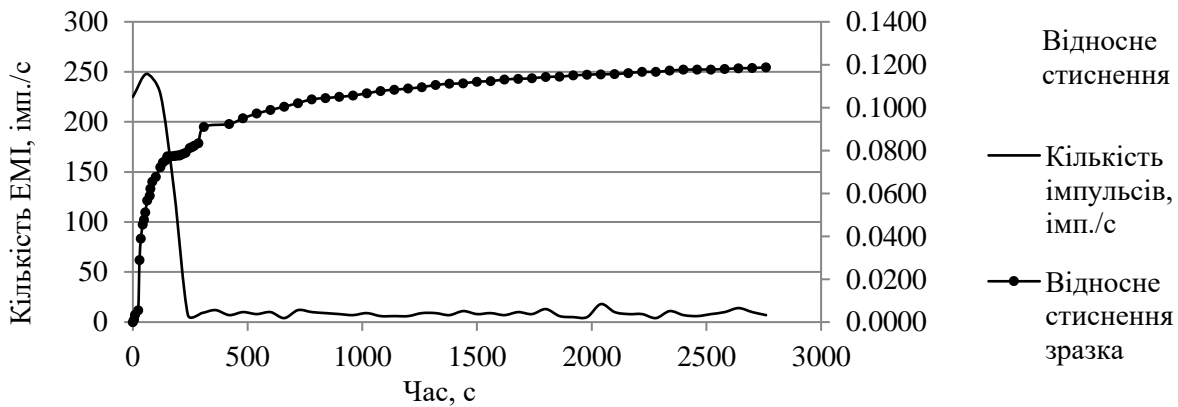


Рис. 5 Компресійна крива залежності $\varepsilon = f(t)$ при прикладеному максимальному навантаженні $p = 5,3$ кПа до зразка глини з одночасною фіксацією ЕМІ упродовж проведення експерименту

У результаті виконаних експериментів отримані дані про відносне стиснення зразків ґрунту і зміну коефіцієнта пористості породи в одометричних умовах з одночасною фіксацією параметрів ЕМІ.

Результати та обговорення. Аналіз результатів компресійних досліджень підтвердив, що максимально напруженому стану пухких ґрунтів відповідають підвищені значення ЕМІ і навпаки – їх спад характерний для релаксації зразків ґрунту. Так, екстремуми амплітуди коливання ЕМІ фіксуються на початку компресійних досліджень під час найінтенсивнішого стиснення зразка. Після пікового збудження відбувається незначне «падіння» кількості ЕМІ, а потім повільне їх наростання, що обумовлене зменшенням інтенсивності перебігу стиснення ґрунту. Виявлена закономірність дозволяє теоретично обґрунтувати можливість застосування методу ПЕМПЗ для діагностики технічного стану ґрунтових ГТС.

Слід зазначити, що появу електромагнітних імпульсів під час передачі одноосного навантаження на зразок глини можна пояснити за рахунок зменшення її пористості і виникнення акустичного сигналу при захлопуванні шпарин, оскільки п'єзоелектричний ефект під дією механічних навантажень розвивається тільки в кристалічних породах і деяких мінералах [9].

Отже, експерименти доводять, що в пухких ґрунтах під дією навантажень виникає ЕМІ, що дозволяє використовувати геофізичний метод ПЕМПЗ для діагностики технічного стану ґрунтових ГТС [11-13].

Висновки. Лабораторні дослідження одноосного стиснення глини на одометрі показали, що збільшення тиску на зразок призводить до виникнення електромагнітного сигналу, який за характеристиками подібний сигналу, отриманому при впливі навантаження на зразки кристалічних і зцементованих осадових гірських порід.

Уперше в результаті проведення дослідів компресії зразків глини в одометричних умовах виявлено, що підвищення напружено-деформованого стану ґрунтів викликає поступове зростання амплітуди електромагнітних імпульсів.

Дані проведених польових досліджень [11] непрямо підтверджують достовірність отриманих експериментальних результатів.

Бібліографія

1. Технічний стан гідротехнічних споруд Дніпропетровської області / Орлінська О. В та ін. Вісн. Нац. ун-ту водного гос-ва та природокористування. Вип. 3 (71). Ч. 1. Техн. науки. Рівне: НУВГ та ПК, 2015. С. 143-150.
2. Розрахунок втрат води з магістрального каналу за програмою «Visual Modflow» / Орлінська О.В. та ін. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції [«Сучасний стан та перспективи розвитку водного господарства»]. Дніпропетровськ: «СВИДЛЕР», 2016.С. 46-48.
3. Выявление зон фильтрации воды из оросительных систем геофизическим методом / Орлинская О.В. и др. Материалы международной научно-практической конференции геосистемный подход к изучению природной среды республики Казахстан. Астана, Казахстан, 2018. С. 58-59.
4. Орлінська О.В., Чушкіна І.В. Методика розрахунку втрат води з магістрального каналу за програмою Visual Modflow 2.8 // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції "Вода і робочі місця". К.: ІВПіМ, 2016. С. 98-99.
5. Кулешов Г.Н. // Рекомендации по оценке и обеспечению безопасности гидротехнических сооружений. Ташкент, 2009. 222 с.
6. Gamal Z. Geophysical investigation of seepage from anearthfilldam /. Интернет ресурс. Режим доступу: <http://www.dot.state.fl.us / state materials office / geotechnical / conference / materials / aal-ism>.
7. Ganesh Mainali. Monitoring of Tailings Dams with Geophysical Methods // Division of Ore Geology and Applied Geophysics, Luleå University of Technology SE-97187 LuleåSweden: 2006. 74 p.
8. Грицай Е.Ю., Цибульская Н.В., Волков А.Г. Применение метода ЕИЭМПЗ при изучении природной и техногенной тектоники Кривбаса // Геолого-геофизичний вісник. №2 (28). 2012. С. 38-46.
9. Кузьменко Э.Д., Вдовина Е.П., Чебан В.Д. Об использовании некоторых электрических параметров при прогнозе оползневых явлений // Наук. вісн. НГАУ. 2002. № 4. С. 89–91.
10. Саломатин В.Н. Многолетний опыт применения метода ЕИЭМПЗ при решении комплекса задач в Украине // Сборник трудов Междунар. научн. конф. «Становление и развитие научных исследований в высшей школе», Томский политехн. ун-т. Т.2.Томск: ТПУ, 2009. С. 384–391.
11. Становление и развитие научных исследований в высшей школе: сборник трудов международной научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения профессора А. А. Воробьева, Томск, 14-16 сентября 2009 г. / Российская академия наук (РАН); Ассоциация инженерного образования России (АИОР); Томский политехнический университет (ТПУ). Томск: Изд-во ТПУ, 2009. Т. 1. 398 с.
12. Пикареня Д.С., Орлинская О.В. Опыт применения метода естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ) для решения инженерно-геологических и геологических задач, Днепрпетровск: СВИДЛЕР, 2009. 120 с.
13. Далматов Б. И. Механика грунтов, основания и фундаменты (включая специальный курс инженерной геологии). 2-е изд. Л.: Стройиздат, 1988. 415 с.

References

1. Orlins'ka, O. V., Chushkina, I. V., P'yatnitsya, I. V., & Pikarenya, D. S. (2015). Tehnichniy stan gidrotehnichnih sporud Dnipropetrovs'koї oblasti [Technical condition of hydraulic structures of Dnipropetrovsk region]. Visn. Nac. un-tu vodnogo gos-va ta prirodo-koristuvannya. 3 (71), 1, Tehn. Nauki, Rivne: NUVG ta PK, 143-150. [in Ukrainian].
2. Orlins'ka, O. V., Pikarenya, D. S., Chushkina, I. V., & Gapich, G.V. (2016). Rozrahunok vtrat vodi z magistral'nogo kanalu za programoyu «Visual Modflow» [Calculation of water losses

from the main channel under the program "Visual Modflow"]. Materiali Mizhnarodnoï naukovo-praktichnoï konferencii «Suchasniy stan ta perspektivi rozvitku vodnogo gospodarstva». Dnipropetrovs: Dnipropetrovs'kiy derzhavniy agrarno-ekonomichniy universitet: "SVIDLER", 46-48. [in Ukrainian].

3. Pikarenaya, D.S., Nakonechniy, V.G., Orlins'ka, O.V., Chushkina, I.V., Maksimova, N. M., & Gapich, G.V. et al. (2018). Vyyavlenie zon fil'tracii vody iz orositel'nyh sistem geofizicheskim metodom [Detection of water filtration zones from irrigation systems by geophysical method]. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii geosistemnyy podhod k izucheniyu prirodnoy sredy respubliki Kazahstan. Astana, Kazahstan.58-59. [in Russian].

4. Orlins'ka, O.V., & Chushkina, I.V. (2016). Metodika rozrahunku vtrat vodi z magistral'nogo kanalu za programoyu Visual Modflow 2.8 [Method of calculation of water losses from the main channel under the program Visual Modflow 2.8]. Materiali Vseukraïns'koï naukovo-praktichnoï konferencii "Voda i robochi miscya". Kiev: IVPiM, 98-99. [in Ukrainian].

5. Kuleshov, G.N. (2009). Rekomendacii po ocenke i obespecheniyu bezopasnosti gidrotehnicheskikh sooruzheniy [Recommendations for assessing and ensuring the safety of hydraulic structures]. Tashkent. [in Russian].

6. Gamal, Z. Geophysical investigation of seepage from anearthfilldam [Geophysical investigation of seepage from anearthfilldam]. <http://www.dot.state.fl.us / state materials office / geotechnical / conference / materials / aal-ism>.

7. Ganesh, M. (2006). Monitoring of Tailings Dams with Geophysical Methods [Monitoring of Tailings Dams with Geophysical Methods]. Division of Ore Geology and Applied Geophysics, Luleå University of Technology SE-97187 LuleåSweden.

8. Gricay, E.Yu., Cibul'skaya, N.V. & Volkov, A.G. (2012). Primenenie metoda EIEMPZ pri izuchenii prirodnoy i tehnogennoy tektoniki Krivbasa [Application of the EIEMPZ method in the study of natural and man-made Kryvbas tectonics]. Geologo-geofizichniy visnik, 2(28), 38-46. [in Russian].

9. Kuzmenko, E.D. Vdovina, E.P. & CHEban, V.D. (2002). Ob ispolzovanii nekotoryih elektricheskikh parametrov pri prognoze opolznevyih yavleniy. [On the use of some electrical parameters in the prediction of landslide phenomena]. Nauk. visn. NGAU, 4, 89–91. [in Russian].

10. Salomatin, V.N. (2009). Mnogoletniy opyt primeneniya metoda EIEMPZ pri reshenii kompleksa zadach v Ukraine. [Many years of experience in using the EIEMPZ method in solving a set of tasks in Ukraine]. Sbornik trudov Mejdunar. nauchn. konf. [«Stanovlenie i razvitie nauchnyih issledovaniy v vyisshey shkole», posvyasch. 100-letiyu so dnya rojd. prof. A.A. Vorobëva. Tomskiy politehn. un-t., 2. Tomsk: Izd-vo Tomsk. politehn. un-ta, 384–391. [in Russian].

11. Assotsiatsiya inzhenernogo obrazovaniya Rossii (AIOR). (2009). Stanovlenie i razvitie nauchnyih issledovaniy v vyisshey shkole. [Formation and development of research in higher education]. Sbornik trudov mejdunarodnoy nauchnoy konferentsii, posvyaschennoy 100-letiyu so dnya rojdeniya professora A. A. Vorobev. Tomskiy politehnicheskii universitet (TPU). Tomsk : Izd-vo TPU, 1. [in Russian].

12. Pikarenaya, D. S. & Orlins'ka, O. V. (2009). Opyt primeneniya metoda estestvennogo impulsnogo elektromagnitnogo polya Zemli (EIEMPZ) dlya resheniya inzhenerno-geologicheskikh i geologicheskikh zadach. [Experience of using the method of natural pulsed electromagnetic field of the Earth (EIEMPZ) for solving engineering-geological and geological problems]. Dnepropetrovsk: SVIDLER. [in Russian].

13. Dalmatov, B. I. (1988). Mehanika rruntov, osnovaniya i fundamentyi (vkluychaya spetsialniy kurs inzhenernoy geologii). [Ground mechanics, foundations and foundations (including a special course in engineering geology)]. Leningrad: Stroyizdat. [in Russian].

Чушкина И.В.

Генерация электромагнитных импульсов в глинах при их нагрузке в лабораторных условиях

Аннотация. По результатам экспериментальных исследований выявлены основные закономерности развития амплитудно-частотных колебаний электромагнитных импульсов в грунтовой толще во время ее сжатия. Данные лабораторных исследований обосновали возможность использования метода естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ) для диагностики технического состояния грунтовых гидротехнических сооружений.

Ключевые слова: метод естественного импульсного электромагнитного поля Земли, одометр, рыхлые породы, глинистые почвы, электромагнитные импульсы, грунтовые гидротехнические сооружения, диагностика технического состояния

Chushkina I.V.

Generation of electromagnetic impulses in clays during their loading in a laboratory environment

Abstract. According to the results of experimental studies, the basic laws of the development of amplitude-frequency oscillations of electromagnetic pulses in the soil layer during its compression were revealed. The data of laboratory studies substantiated the possibility of using the method of the Natural Pulse Electromagnetic Field of the Earth (PIEMPZ) for the diagnosis of the technical state of ground hydraulic engineering facilities.

Key words: method of natural impulse electromagnetic Earth's field, odometer, loose rocks, clayish soil, electromagnetic impulses, soil technical structures, irrigation systems, diagnostics of engineering state.