

УДК 631.67

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИСЛЕДОВАНИЯ ГЕНЕРАЦИИ  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИМПУЛЬСОВ В ГЛИНАХ ПРИ ИХ НАГРУЗКЕ  
В ОДОМЕТРИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

**ОРЛИНСКАЯ О.В.** *доктор геологических наук, профессор кафедры  
эксплуатации гидромелиоративных систем и технологи строительства*

**МАКСИМОВА Н.Н.** *кандидат технических наук, доцент кафедры экологии  
и охраны окружающей среды*

**ЧУШКИНА И.В.** *старший преподаватель кафедры эксплуатации  
гидромелиоративных систем и технологи строительства*

[zalomiy80@gmail.com](mailto:zalomiy80@gmail.com)

*Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет  
г. Днепр, Украина*

На сегодня фильтрационные потери из водонесущих сетей и регулирующих сооружений превышают 30% [1], прежде всего обусловлено это неудовлетворительным техническим состоянием гидротехнических сооружений (ГТС).

Диагностика технического состояния грунтовых ГТС сельскохозяйственного назначения, относящихся к классу последствий отказа (ответственности) СС-1 (незначительные последствия), проводится обычно с помощью визуального осмотра в межвегетационный период, когда отсутствует вода в оросительной системе (ОС).

Поиск быстрых малозатратных методов оценки технического состояния грунтовых ГТС, а также выявление на них участков, требующих первоочередного ремонта, являются актуальными научно-практическими задачами, которые соответствуют приоритетным направлениям действующей Общегосударственной целевой программы развития водного хозяйства и

экологического оздоровления бассейна реки Днепр на период до 2021 года, утвержденной Верховной Радой Украины № 4836-VI от 24 мая 2012, а также соответствуют ранее действующей Государственной программы предотвращения и борьбы с подтоплением земель.

Так, по результатам многочисленных полевых исследований авторами [2-4] доказана эффективность применения геофизического метода естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ) для выявления зон разуплотнения и обводнения в теле грунтовых ГТС. К сожалению, на сегодняшний день нет научно-методологического обоснования возможности использования метода ЕИЭМПЗ для исследования геоэлектрических полей, возникающих в рыхлых грунтовых толщах.

В основе теоретического обоснования метода ЕИЭМПЗ лежат исследования Воробьева А.А. и др. [5-10], которые показали возможность существования в земных недрах высоких электрических полей, источниками которых могут быть разломы, разрывы и трещины, способные генерировать при образовании или активизации электрические заряды и поля.

В настоящее время недостаточно изучен вопрос генерации электромагнитных импульсов (ЭМИ) в грунтовых массивах, которые выступают в качестве основной исследуемой среды во время диагностики технического состояния грунтовых ГТС оросительных систем с помощью геофизического метода ЕИЭМПЗ. Подобные толщи, как правило, представлены глинистыми грунтами различной влажности и лежат в основании регулирующих бассейнов (РБ) и каналов оросительных систем.

Для компрессионных исследований были отобраны около регулирующего бассейна Калиновской оросительной системы глины твердые в состоянии нарушенной структуры. Эксперименты проводились на образцах глины как естественной влажности, так и на доувлажненных. Перед началом и после окончания компрессионных испытаний по общеизвестным формулам определялись пористость и коэффициент пористости грунта, которые являются вспомогательными характеристиками для построения компрессионных кривых.

Коэффициент пористости  $e_i$  в зависимости от значений относительной деформации  $\varepsilon_i$  при соответствующем давлении  $p_i$  рассчитывается по формуле:

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

де  $e_0$  – начальный коэффициент пористости, ч. ед.;

$e_i$  – коэффициент пористости грунта, полученный во время эксперимента, ч. ед.;

$\varepsilon_i$  – усредненное значение относительной деформации грунта.

В лаборатории Днепропетровского государственного аграрно-экономического университета проводились исследования связи между воздействием статической нагрузки на образец глины на одомере стандартной модификации и возникновением электромагнитного возбуждения, которое регистрировалось с помощью прибора МИЭМП-14/4 (серия «СИМЕИЗ»). Наблюдение ЕИЭМПЗ выполнялись с помощью одной антенны, размещенной вертикально вниз или горизонтально на расстоянии 15-20 см от одомера (рис. 1). Съемка осуществлялась по одинаковым для каждого из положений антенны параметрам прибора: частота дискретизации – 50 кГц, длительность измерения 0,2 с, коэффициент усиления сигнала – 10 В / мВ, уровень дискриминации – 2 мВ.

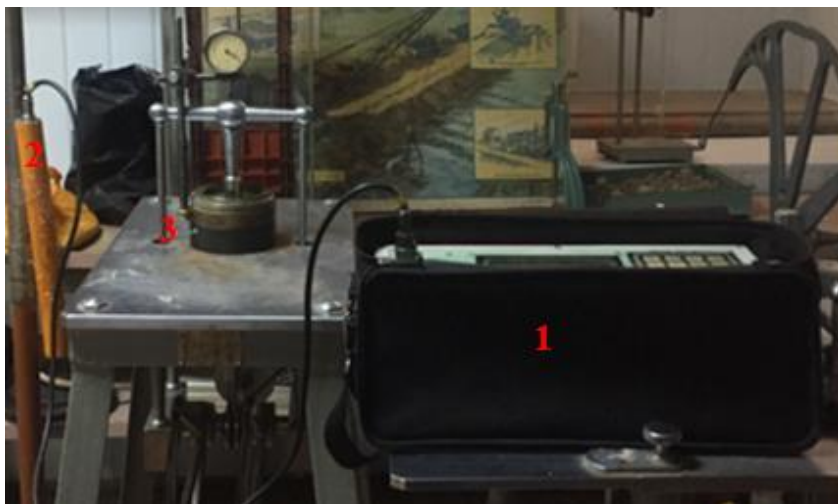


Рисунок 1 – Внешний вид прибора МИЭМП-14/4 (1) с вертикально

расположенной принимающей антенной (2) во время одновременной фиксации ЭМИ и при нагружении образца глины на одометре (3)

Образцы грунта подвергались нагрузке в соответствии с реальным давлением от слоя воды 4,2 м в наполненном РБ. Размер приложенной нагрузки на подстилающее РБ грунтовое основание получен как сумма давлений от воды и железобетонных плит с учетом действия силы тяжести и составил 4,789 кН/м<sup>2</sup>. Во время периодического наполнения бассейна возникает динамическая нагрузка на дно и стенки, которая учитывается увеличением статической нагрузки на 10%, то есть на образцы рыхлых глинистых грунтов подавалась нагрузка 5,268 кПа. Экспериментальные исследования компрессии образцов глины твердой проводились на одометре стандартной модификации (рис. 2) со ступенчатым возрастанием нагрузки в соответствии с основными положениями ГОСТ В.2.1-4-96 (ГОСТ 12248-96). Основные детали компрессионного прибора следующие: рабочее кольцо с внутренним диаметром 87,6 мм и высотой 25 мм, цилиндрическая обойма, перфорированный вкладыш под кольцом, поддон с емкостью для воды, а также индикатор для измерения вертикальных деформаций образца с ценой деления 0,1 мм.

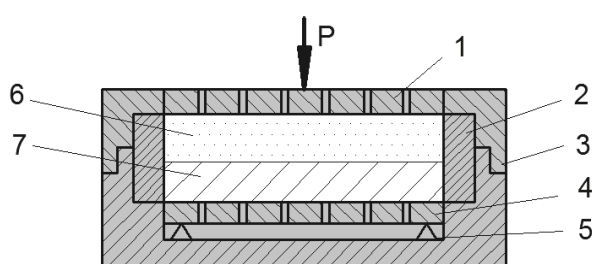


Рисунок 2 – Схема испытания влажных образцов глины в одометре: 1 – крышка; 2 – рабочее кольцо; 3 – цилиндрическая обойма; 4 – перфорированный вкладыш под кольцо; 5 – поддон с емкостью для воды; 6 – перфорированный вкладыш с водой; 7 – слой глины насыпной плотности

Эксперименты начинались с засыпки рыхлых грунтов естественной влажности в жесткое металлическое кольцо. Увеличение влажности глины

происходило в начале эксперимента за счет расположения поверх грунта перфорированного полиэтиленового пакета с насыщенной водой губкой, что позволяло исследовать закономерности изменения амплитуды ЭМИ при насыщении и распределении воды в грунтах. Нагрузка на образцы глины передавалась ступенчато. Во время выполнения первого компрессионного эксперимента продолжительность каждой ступени нагрузки напрямую зависела от достижения условной стабилизации деформации грунта. Продолжительность проведения следующих экспериментов было уменьшено, поскольку основной целью было исследование закономерностей развития ЭМИ в глинах напряженного состояния.

Результаты представлены в виде компрессионных кривых зависимости относительного сжатия от времени эксперимента  $\varepsilon = f(t)$  с учетом изменения амплитуды ЭМИ (рис. 3-5).

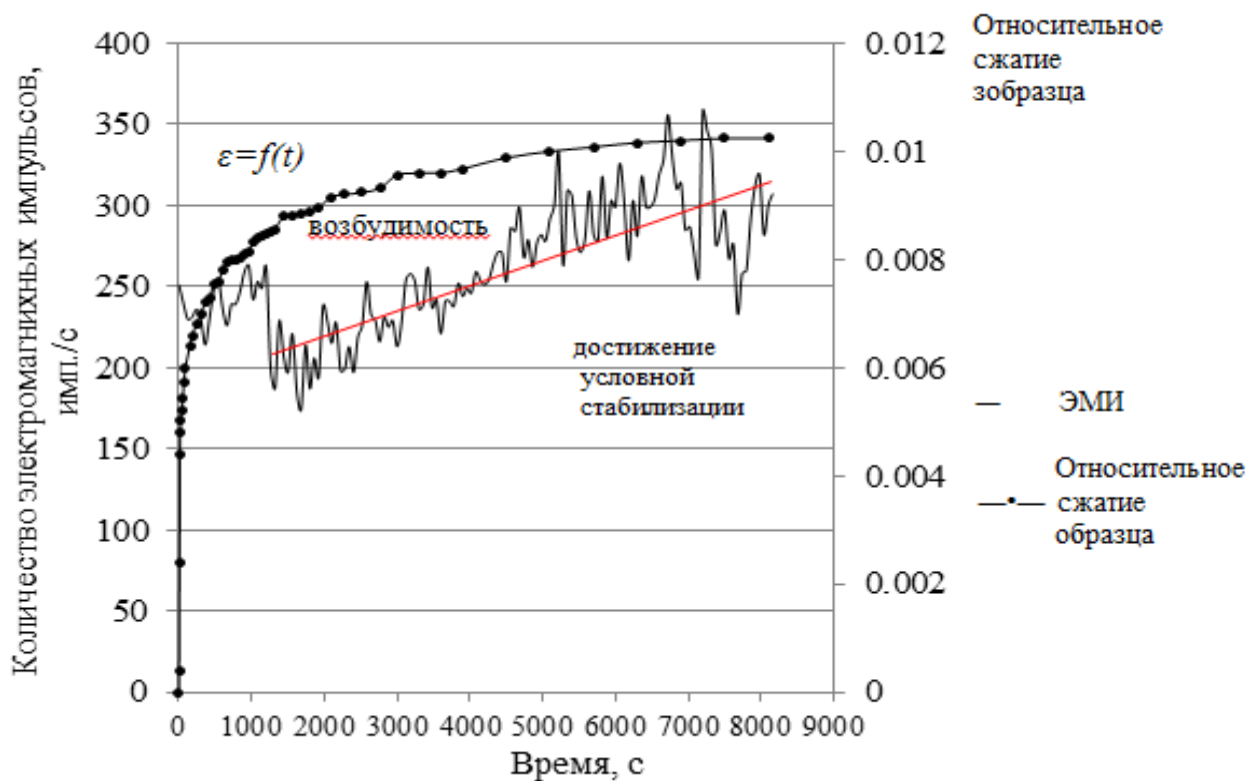


Рисунок 3 – Компрессионная кривая зависимости  $\varepsilon = f(t)$  при приложенной нагрузке  $p = 2,65$  кПа до образца глины с одновременной фиксацией ЭМИ.

Начало проведения первого эксперимента, первая ступень нагрузки

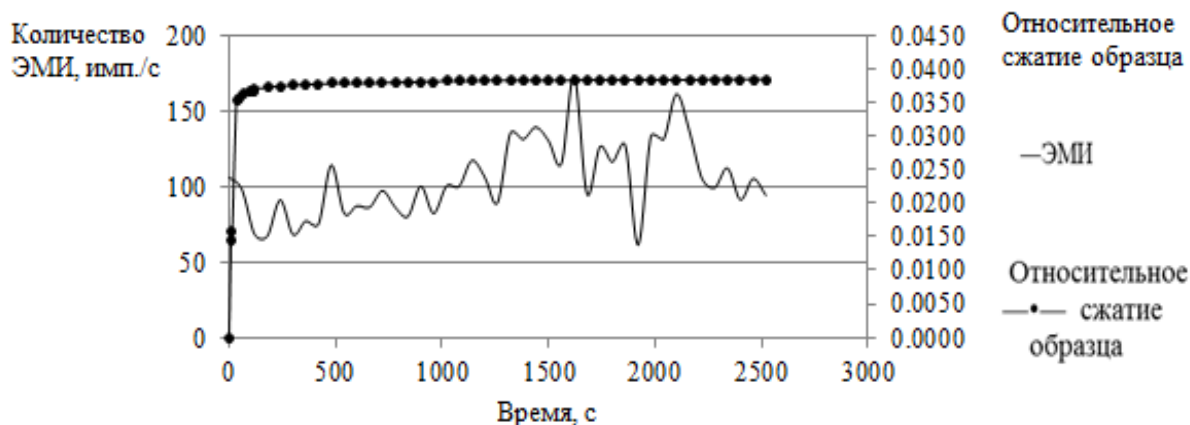


Рисунок 4 – Компрессионная кривая зависимости  $\varepsilon = f(t)$  при приложенной максимальной нагрузке  $p = 5,3$  кПа к образцу глины с одновременной фиксацией ЭМИ во время проведения эксперимента

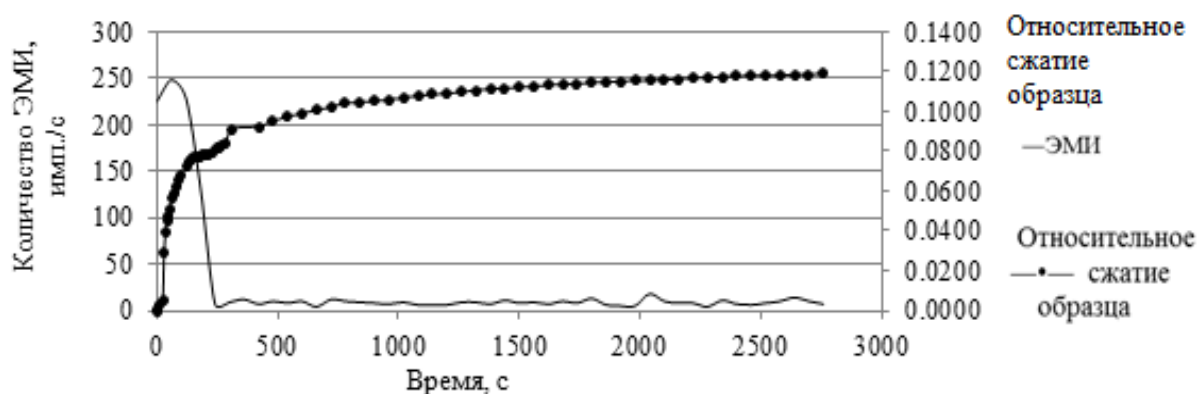


Рисунок 5 – Компрессионная кривая зависимости  $\varepsilon = f(t)$  при приложенной максимальной нагрузке  $p = 5,3$  кПа к образцу глины с одновременной фиксацией ЭМИ во время проведения эксперимента

В результате выполненных экспериментов были получены данные об относительном сжатии образцов грунта и изменение их коэффициента пористости в одометрических условиях с одновременной фиксацией параметров ЭМИ.

Анализ результатов компрессионных исследований подтвердил, что в максимально напряженном состоянии в рыхлых грунтах соответствуют повышенные значения ЭМИ и наоборот – их падение характеризуется релаксацией образцов грунта. Так, экстремумы амплитуды колебания ЭМИ

фиксируются в начале компрессионных исследований при интенсивном сжатии образца. После пикового возбуждения происходит незначительное «падение» количества ЭМИ, а затем медленное их нарастание, что обусловлено уменьшением интенсивности сжатия грунта. Выявленная закономерность позволяет теоретически обосновать возможность применения метода ЕИЭМПЗ для диагностики технического состояния грунтовых ГТС.

Следует отметить, что появление электромагнитных импульсов при передаче одноосной нагрузки на образец глины можно объяснить уменьшением их пористости и возникновением акустического сигнала при захлопывании пор, поскольку пьезоэлектрический эффект под действием механических нагрузок развивается только в кристаллических породах и некоторых минералах [9].

**Выводы.** Таким образом, эксперименты доказывают, что в рыхлых грунтах под действием нагрузок возникают ЭМИ, что позволяет использовать геофизический метод ЕИЭМПЗ для диагностики технического состояния грунтовых ГТС [11-13].

Лабораторные исследования одноосного сжатия глин на одомере показали, что увеличение давления на образец приводит к возникновению электромагнитного сигнала, по характеристикам подобного сигналам, полученным при воздействии нагрузки на образцы кристаллических и сцементированных осадочных горных пород.

Впервые в результате проведения опытов компрессии образцов глины в одометрических условиях обнаружено, что повышение напряженно-деформированного состояния грунтов вызывает постепенный рост амплитуды электромагнитных импульсов.

Данные проведенных полевых исследований [11] косвенно подтверждают достоверность полученных экспериментальных результатов.

### **Использованная литература**

1. Орлінська О.В. Технічний стан гідротехнічних споруд Дніпропетровської області / О. В. Орлінська, І. В. Чушкіна, І. В. П'ятниця, Д. С.

Пікареня// 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. Орлінська О.В. Розрахунок втрат води з магістрального каналу за програмою «Visual Modflow» / О.В. Орлінська, Д.С. Пікареня, І.В. Чушкіна, Г.В. Гапіч//Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції [«Сучасний стан та перспективи розвитку водного господарства»], (м. Дніпропетровськ, Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет, 19-20 травня 2016 р.). Дніпропетровськ: “СВИДЛЕР”, 2016.С. 46-48.

3. Орлінська О.В. Выявление зон фильтрации воды из оросительных систем геофизическим методом/ Пікареня Д.С., Наконечний В.Г., Орлінська О.В., Чушкіна І.В., Максимова Н. М., Гапіч Г.В.// Материалы международной научно-практической конференции геосистемный подход к изучению природной среды республики Казахстан, 13-14 апреля 2018г. Астана, Казахстан, 2018.С. 58-59.

4. Орлінська О.В. Методика розрахунку втрат води з магістрального каналу за програмою Visual Modflow 2.8 / О.В. Орлінська, І.В. Чушкіна // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції "Вода і робочі місця" (Київ, 22 березня 2016 р.). К.: ІВПіМ, 2016. С. 98-99.

5. Кулешов Г.Н. Рекомендации по оценке и обеспечению безопасности гидротехнических сооружений / Г.Н. Кулешов. Ташкент, 2009. 222 с.

6. Gamal Z., Geophysical investigation of seepage from anearthfilldam / Gamal Z. 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 / Ganesh Mainali // Division of Ore Geology and Applied Geophysics, Luleå University of Technology SE-97187 LuleåSweden: 2006. 74 p.

8. Грицай Е.Ю. Применение метода ЕИЭМПЗ при изучении природной и техногенной тектоники Кривбаса / Е.Ю. Грицай, Н.В. Цибульская, А.Г. Волков // Геолого-геофізичний вісник. №2 (28). 2012. С. 38-46.



9. Кузьменко Э.Д. Об использовании некоторых электрических параметров при прогнозе оползневых явлений / Э.Д. Кузьменко, Е.П. Вдовина, В.Д. Чебан // Наук. вісн. НГАУ. 2002. № 4. С. 89–91.

10. Саломатин В.Н. Многолетний опыт применения метода ЕИЭМПЗ при решении комплекса задач в Украине / В. Н. Саломатин // Сборник трудов Междунар. научн. конф. [«Становление и развитие научных исследований в высшей школе», посвящ. 100-летию со дня рожд. проф. А.А. Воробьева], (Томск, 14–16 сентября 2009 г.) / Томский политехн. ун-т. Т.2.Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 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. Опыт применения метода естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ) для решения инженерно-геологических и геологических задач / Д.С. Пикареня, О.В. Орлинская. Днепропетровск: СВИДЛЕР, 2009. 120 с.

13. Далматов Б. И. Механика грунтов, основания и фундаменты (включая специальный курс инженерной геологии) / Б. И. Далматов. 2-е изд. Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1988. 415 с.