

УДК: 544.638

DOI: 10.26907/rwp29.2025.484-487

ЦИФРОВАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ШУМОВ ПРИ РЕГИСТРАЦИИ ГИДРОЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА НА БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ ОЗ. БАЙКАЛ

А.Д. Шунков, Ю.Б. Башкуев

Институт физического материаловедения СО РАН, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6

E-mail: timofe37@yandex.ru

Аннотация. Прибрежная гидродинамика акватории озера Байкал, связанная с волновыми процессами, индуцирует электрокинетические эффекты в приповерхностном слое песчаного грунта. Это обусловлено движением жидкости через систему капиллярных каналов, сопровождающимся формированием двойного электрического слоя на границе раздела фаз «вода – пористый песок». Возникающий при этом потенциал протекания (streaming potential) регистрируется как импульсный сигнал, амплитуда которого связана с кинематикой волн. Каждое волновое воздействие вызывает резкий скачок напряжения с последующей релаксацией. В условиях освоённой береговой зоны (с. Горячинск), подверженной антропогенному воздействию, измерительный комплекс испытывает влияние техногенных помех – в частности, гармоник промышленной сети 50 Гц, создаваемых инфраструктурой 220 В. Высокая чувствительность аппаратуры приводит к появлению аддитивного шумового компонента, который искажает низкочастотный полезный сигнал, что требует применения методов спектральной коррекции. В работе приведены методика полевых измерений, анализ спектрального состава сигналов и результаты подавления помех с использованием цифровой фильтрации.

Ключевые слова: озеро Байкал, электрокинетические явления, помехи электросети

THE INFLUENCE OF INDUSTRIAL INTERFERENCE IN MEASURING THE HYDROELECTRICDYNAMIC EFFECT ON THE SHORELINE OF THE LAKE BAIKAL

A.D. Shunkov, Yu.B. Bashkuev

Abstract. The coastal hydrodynamics of Lake Baikal, associated with wave processes, induces electrokinetic effects in the near-surface layer of sandy soil. This is due to the movement of liquid through a system of capillary channels, accompanied by the formation of a double electric layer at the interface of the phases «water – porous sand». The resulting streaming potential is recorded as a pulse signal, the amplitude of which is related to the kinematics of the waves. Each wave action causes a sudden surge of voltage followed by relaxation. In the conditions of the developed coastal zone (Goryachinsk village), which is subject to anthropogenic impact, the measuring complex is influenced by man-made interference, in particular, harmonics of the 50 Hz industrial network created by the 220 V infrastructure. The high sensitivity of the equipment leads to the appearance of an additive noise component that distorts the low-frequency useful signal, which requires the use of spectral correction methods. The paper presents a field measurement technique, an analysis of the spectral composition of signals and the results of interference suppression using digital filtering.

Keywords: Lake Baikal, electrokinetic phenomena, power grid interference

Введение

Электрокинетические процессы представляют собой распространённый природный феномен. Их общей характеристикой является формирование двойного электрического слоя на границе раздела фаз. При фильтрации воды или электролитов через пористые среды, такие как горные породы или почвы, в этих структурах возникают электрические поля, называемые фильтрационными. Для измерения их напряжённости применяется метод естественного поля (ЕП), широко используемый в геологоразведке для обнаружения рудных залежей, особенно минералов с электронной проводимостью [1]. Кроме того, методика ЕП эффективна при исследованиях в акваториях рек и водоёмов [2]. Примером таких полей может служить прибрежная зона озера Байкал, где их образование обусловлено движением водных масс вдоль береговой линии. Измерения в районе села Горячинск на Байкале проводятся непосредственно на берегу, однако близость источников электропитания бытовой сети создаёт аддитивные помехи, искажающие сигнал. Эти помехи проявляются в виде наложения сетевого шума на

полезный сигнал. Тем не менее, их влияние может быть минимизировано методами постобработки, такими как частотная фильтрация или вычитание фона, благодаря аддитивному характеру искажений.

Целью исследования является анализ и минимизация сетевых помех в сигналах фильтрационных полей, регистрируемых в прибрежной зоне озера Байкал, с использованием многоканального регистратора ZET 048-E. Для этого предлагается методика постобработки, включающая построение спектральных характеристик сигнала и применение цифровых фильтров. Это позволит выделить полезный низкочастотный компонент и подавить высокочастотные гармоники, связанные с влиянием электросети.

Описание установки и способ регистрации

В рамках данного исследования традиционно применяемый регистратор Байкал 7HR [4, 5], обладающий встроенным цифровым ФНЧ [6] (частота среза 38 Гц при частоте дискретизации 100 Гц), был дополнен многоканальным регистратором ZET 048-E. Это позволило провести сравнительный анализ аппаратных возможностей и оценить потенциал нового оборудования для регистрации низкочастотных фильтрационных полей в условиях интенсивных техногенных помех. ZET 048-E обеспечивает частоту дискретизации 1000 Гц, входное сопротивление 100 кОм и ёмкость менее 10 пФ, что расширяет полосу регистрируемых частот (0–500 Гц) и повышает детализацию сигнала. Отсутствие встроенного фильтра нижних частот компенсируется гибкостью постобработки данных, включая цифровую фильтрацию и спектральный анализ. Использование ZET 048-E направлено на апробацию методики подавления сетевых гармоник в широкополосных сигналах, а также на изучение влияния параметров регистратора на точность выделения полезного компонента в низкочастотном диапазоне.

В качестве измерительных электродов используются полые медные трубки диаметром 12 мм и длиной 300 мм. На стержни нанесены насечки с шагом 50 мм, для контроля уровня заглубления. Коммутация электродов и регистратора осуществляется с помощью провода марки ШВВП 3х0,75 на одном конце которого припаян кольцевой наконечник для подключения к измерительным электродам. Питание регистратора осуществляется от встроенного аккумулятора с напряжением 12 вольт.

В качестве экспериментальной площадки был выбран песчаный берег оз. Байкал, вблизи села Горячинск. Измерительные электроды устанавливаются по схеме, изображённой на рисунке 1. Регистратор записывает изменения разности потенциалов между восьмью электродами и «нулевой точкой», которая находится рядом с регистратором.

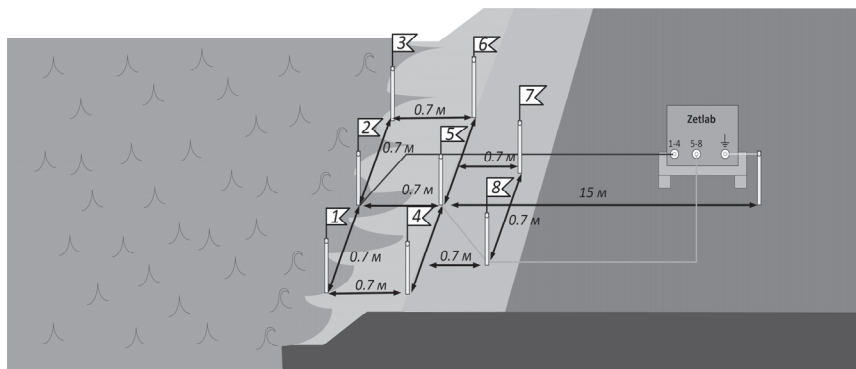


Рис. 1. Схема восьмиканальной измерительной установки

В качестве примера возьмём данные, полученные с 1 электрода. На рисунке 2 показан график изменения разности потенциала в течение 70 секунд. По этому графику видно, что исходный сигнал колеблется в довольно узком диапазоне (примерно от 395 до 415 мВ), однако в нём присутствует заметная шумовая составляющая, которая затрудняет дальнейший анализ сигнала. Для выявления частотных компонент помех и количественной оценки их вклада в

общий сигнал необходимо выполнить спектральный анализ данных. Это позволит определить доминирующие гармоники помех и обосновать выбор параметров цифрового фильтра.

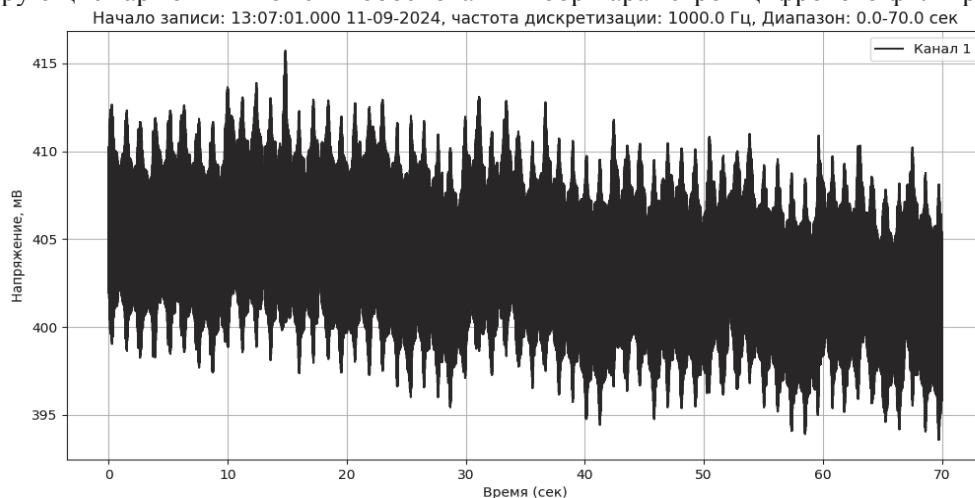


Рис. 2. Пример изменения разности потенциала на 70 секундном интервале

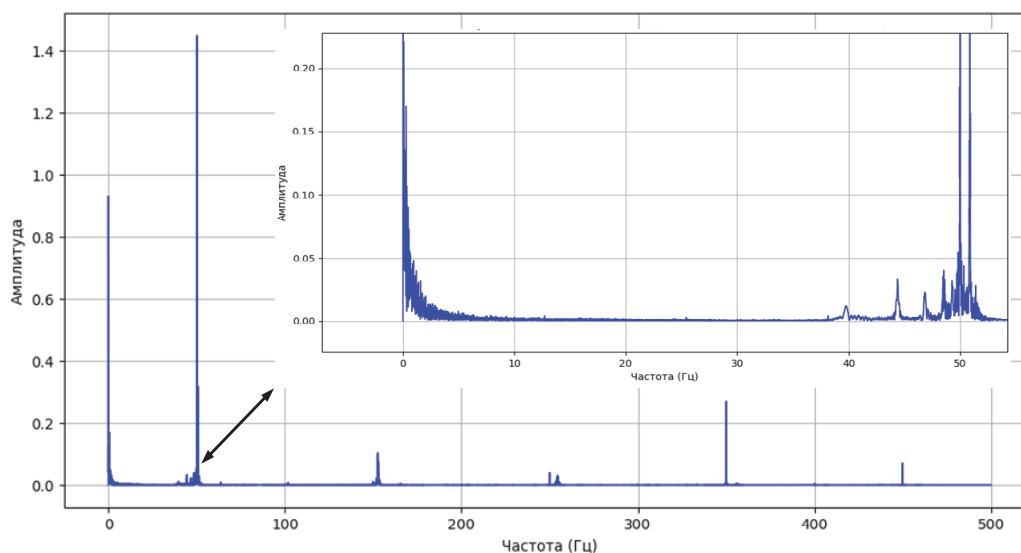


Рис. 3. Спектр сигнала, записанный с частой дискретизации равной 1 кГц

На рисунке 3 представлен спектр, в котором преобладают нечётные гармоники, кратные 50 Гц (50, 150, 250, 350, 450 Гц). Это типично для помех, связанных с электросетью, где основная частота 50 Гц, а нелинейности в системе (например, в измерительном оборудовании или в самом процессе регистрации эффекта) приводят к появлению только нечётных гармоник.

В спектре также наблюдаются линии (около 38–39 Гц и в диапазоне 40–50 Гц), природа которых пока не установлена. Предположительно, они могут быть вызваны работой близко расположенных электромеханических устройств или являться результатом нелинейных искажений при регистрации сигнала, приводящих к появлению побочных частот.

Для подавления высокочастотных гармоник, связанных с сетевыми помехами (50 Гц и кратные частоты), применён цифровой ФНЧ Баттерворта 4-го порядка с частотой среза 37 Гц. Данный тип фильтра обеспечивает максимально плоскую амплитудно-частотную характеристику полосе пропускания (0–37 Гц) и монотонное затухание в полосе подавления, что минимизирует фазовые искажения полезного сигнала

На рисунке 4 представлена форма сигнала на 70 секундном интервале. Для фильтрации сигнала применён фильтр Баттерворта 4 порядка. Теперь сигнал отображает именно динамику

волновых процессов происходящих на береговой линии, вследствие набегания волн. Таким образом, можно оценивать скорость набегających волн, что описано в работах [3, 4].

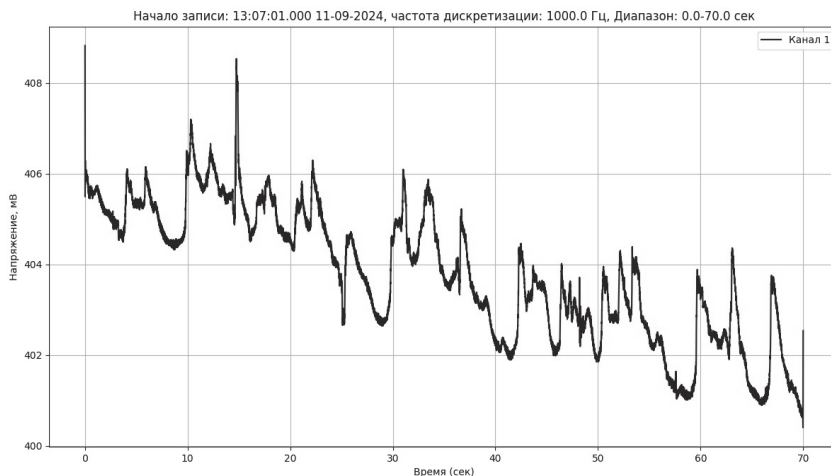


Рис. 4 Форма сигнала, полученная в результате применения ФНЧ Баттерворта.

Заключение

На песчаных участках берега озера Байкал, наблюдаются фильтрационные поля. Они образуются вследствие движения воды через пористый песок, где происходит образование двойного электрического слоя на границе фаз. В основе наблюдения такого рода полей лежит метод естественного поля. Наряду с этим также фиксируются помехи, возникающие из-за работы бытовой сети 220 В. Помимо этого в спектре присутствуют гармоники (около 38-39 Гц и в диапазоне 40–50 Гц), природа которых пока не установлена. Для уточнения источника этих помех планируется дополнительный эксперимент, в ходе которого будут варьироваться условия измерений и проверяться возможные внешние факторы.

Использование регистратора ZET 048-E расширяет возможности регистрации электрокинетического эффекта и позволяет повысить частоту дискретизации до 1000 Гц. Однако отсутствие встроенного фильтра потребовало разработки алгоритмов постобработки. Применение ФНЧ с частотой среза 37 Гц эффективно подавляет помехи, что подтверждается формой обработанного сигнала. Полученные результаты позволяют использовать регистратор ZET 048-E даже с учётом интенсивных техногенных помех.

Список литературы

1. Якубовский Ю.В. Электроразведка. – М.: Недра, 1973. – 304 с.
2. Семенов А.С. Электроразведка методом естественного электрического поля. – Л.: Недра, 1980. – 446 с.
3. Башкуев Ю.Б., Аюров Д.Б., Шунков А.Д. Многоканальная установка для исследования гидроэлектродинамических явлений // Приборы и техника эксперимента. – 2023. – № 3. – С. 116–120.
4. Башкуев Ю.Б. Гидроэлектродинамический эффект в КНЧ-диапазоне на береговой линии оз. Байкал // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. – 2023. – № 4 (60). – С. 24–32.
5. SEISMIC SIGNAL RECORDER Baykal-7HR: Technical manual. 2011. – URL: http://ensors.ru/1_products/Manuals/BY-7hr_Manual_en.pdf (дата обращения: 07.06.2018).