

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СТЕПЕНИ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

*Рахимов Б.Н.¹, Раджабова А.С.¹, Сафарова М.М.²,
Давлатшоев С.К.², Кобулиев З.В.²*

*Таджикский технический университет им. ак. М.С. Осими¹
Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ²*

Аннотация. Большинство аварий гидротехнических сооружений в мире произошли в результате карстования пород основания, и зачастую связаны с некачественными изысканиями и мониторингом, не позволившим выявить карстующую породу, или с отсутствием противосуффозионных мероприятий. В статье рассматривается обзор методов и аппаратур для организации непрерывного мониторинга за гидрогеохимическим режимом в основании плотины на растворимых породах и создание нового типа кондуктометра позволяющий контролировать основные параметры минерализации, угроза размыва растворимого пласта, предупреждения аварийной ситуации и риск появления чрезвычайной ситуации.

Ключевые слова: карстование, растворения, мониторинг, плотина, кондуктометрия, минерализация, безопасность, суффозия, микропроцессор.

Известные в мировой практике аварии гидросооружений произошли в результате карстования пород основания, и зачастую связаны с некачественными изысканиями и мониторингом, не позволившим выявить карстующую породу, или с отсутствием противосуффозионных мероприятий.

Детальное изыскание и изучение характеристик и свойств вмещающей породы основания и принятие мероприятия по их закреплению, снижению градиентов напора соответствующими противифльтрационными элементами и устройствами может полностью или частично исключить развитие растворения и выщелачивания растворимых пород, следовательно, и опасность разрушения плотины.

В связи с этим, требуются надёжные методы для ведения мониторинга, позволяющие своевременно оценить эффективность противифльтрационных мероприятий и сохранность основания. Нужно выработать основной критерийный показатель для

системы мониторинга, используемой для оценки эффективности работы противифльтрационных устройств и мероприятий по обеспечению безопасности основания плотины.

Кондуктометрические методы анализа, основаны на измерении удельной электропроводности исследуемых растворов электролитов. Электрической проводимостью называют способности жидких сред проводить электрический ток под действием электрического поля. Переносчиками электричества в растворах электролитов являются ионы.

Кондуктометрические измерения являются не сложным способом, надёжным и относительно дешевым электрохимическим методом измерения с малым энергопотреблением, позволяющий применять ее для контроля качества и степени минерализации жидких сред по величине их удельной электропроводности (УЭП) [1-3].

Кондуктометры типа КЛ-2 и КЛ-3 с диапазоном измерений 1·10⁻⁴–100 См/м и пределом приведённой погрешности ±0,25 % (КЛ-2) и ±0,6% (КЛ-3) выпускается Барнаулским ОКБА Химавтоматики.

Микропроцессорный лабораторный кондуктометр типа КЛ-4 «Импульс» барнаульского ОКБА Химавтоматика работает в четырёх режимах [4]. Для анализируемой жидкости он:

- измеряет УЭП в диапазоне 1·10⁻⁶–150 См/м (без термокомпенсации);
- определяет УЭП, к заданной температуре (с термокомпенсацией);
- вычисляет температурные коэффициенты УЭП;

Кондуктометрические анализаторы типа СИРИУС-2, выпускается ЗАО Акваросом, измеряющий УЭП в диапазоне 0,0333–10 мкСм/см и УЭС 0,001–30 МОм. Кондуктометры промышленного варианта АТЛАНТ 1100, 1101 и 1102 Московской фирмы АТРЕКО, с диапазоном измерений УЭП 0,01–105 мкСм/см нашли широкое применение.

НПП Буревестник (Санкт-Петербург) разработало кондуктометрический анализатор КИСП-1, а СППКБ Росагроприбор (Москва) – кондуктометрический измеритель КП-001 для исследования сельскохозяйственной продукции.

Российскими производителями были выпущены кондуктометрические анализаторы для измерения температуры обессоленной воды и УЭП, также ими выпущены кондуктометрический анализатор для непрерывного мониторинга качества теплоносителя на тепловых станциях (НП Техноприбор, г. Раменское), кондуктометры – анализаторы (ООО НПФ Инфраспак-Аналит, г. Новосибирск), промышленные кондуктометр-солемеры АКП-01, АКП-01-2, АКП-02 (НПП «Эконикс», г. Москва), кондуктометры промышленные КС-1М-1, КС-1М-2, КС-1М-3, КС-1М-4, КС-1М-5, КС-1М-7, концентратомеры КС-1М-2К, КС-1М-3К, КС-1М-4К, КС-1М-5К, КС-1М-6 «Мир-1», КС-1М-7, проточные КС-1М-1/1, КС-1М-1/2 (ООО

«Сибпромприбор–Аналит», г. Барнаул).

На российский рынок вышли зарубежные производители коондуктометрических приборов. Например, Endress+Hauser (Германия), Burkert S.A.S (Франция), ABB (Швеция, Швейцария), HANNA (Германия), WTW (Германия), HACH (США) и др.

Кондуктометры CLM153, CLM223, CLM223F, CLM253, CLM431, CLD431, CLD132, CLD133, CLD134, CLD633 с датчиками CLS12, CLS13, CLS15, CLS16, CLS19, CLS21, CLS30, CLS50, CLS52, CLS54 фирмы Endress+Hauser (Германия) [5], предназначены для непрерывного измерения УЭП и могут применяться в химической, нефтехимической, пищевой, фармацевтической и других отраслях промышленности, в энергетике, в экологическом мониторинге, водоподготовке, на станциях очистки вод.

Конструктивно кондуктометры состоят из ПИП (первичный измерительный преобразователь) и электронного блока (вторичного преобразователя). Электронные блоки комплектуют различными типами ПИП, которые включают в себя двухэлектродную ячейку и датчик температуры.

Значение удельной УЭП с учётом термокомпенсации и значение температуры измеряемой среды выводят на дисплей вторичного измерительного преобразователя или в виде аналогового и/или цифрового сигнала, который передают в контроллер, устройство индикации, регистрации.

В кондуктометрах предусмотрена аварийная сигнализация о выходе значений УЭП за установленные пределы. ПИП CLS15, CLS16, CLS21, CLS50, CLS54 имеют взрывозащищённое исполнение и предназначены для работы в опасных средах.

Кондуктометры 8225 фирмы Burkert S.A.S. (Франция) предназначены для измерения УЭП и температуры жидкостей и применяются для аналитического контроля и непрерывной регистрации УЭП жидкостей на предприятиях различных отраслей промышленности. Также кондуктометры могут использоваться для анализа природных

и сточных вод, технологических растворов и водных экстрактов проб растительной и пищевой продукции, автоматизации технологических процессов, включая процессы в системах водоподготовки с различными степенями очистки воды [6].

Кондуктометр имеет микропроцессор, что позволяет производить электронные настройки и выбирать режим измерений, осуществлять самодиагностику кондуктометра.

Микропроцессорные стационарные кондуктометры ЕС 214 и ЕС 215 фирмы HANNA (Германия) - это новая серия лабораторных многодиапазонных кондуктометров [7], разработанных на современной элементной базе, сочетающая прекрасные эксплуатационные характеристики с низкой ценой. Кондуктометр ЕС 215 предназначен для измерения УЭП водных растворов в одном из четырёх диапазонов, с автоматической компенсацией измерений по температуре. Температурный коэффициент можно установить в диапазоне 0-2,5 %/°C. Прибор снабжён платиновым четырёхэлектродной

ячейкой с пластиковым кожухом. Модификация ЕС 215R имеет аналоговый выход 0-5 В. Модель ЕС 214 отличается низкой стоимостью и ручной термокомпенсацией.

На сегодняшний день всё большее число кондуктометров разрабатываются и выпускаются на базе микропроцессорной техники. На основании микропроцессорной техники, совершенствование элементной базы кондуктометрических измерителей дало возможность получить оптимальные массогабаритные характеристики кондуктометров. Если габариты лабораторного кондуктометра КЛ-4 выпускается с 1987 года с габаритами 280x100x300 мм, массе 5 кг и питанием от электрической сети. Современные лабораторные кондуктометры ЛК-01 (02) с габаритами 150x60x30 мм и массе 0,2 кг работают с питанием, как от электрической сети, так и от аккумуляторных батарей. Кондуктометры такого типа легко помещаются в руке, и обеспечивает удобство работы.



Рис. 1. Кондуктометр в сборе

Создание кондуктометров на базе микропроцессорной техники позволяет расширить их следующие функциональные возможности: измерение УЭП и температуры раствора; определение концентрации измеряемого компонента; определению температурных коэффициентов; автоматическая обработка результатов измерений; определение математического ожидания; среднеквадратического отклонения и других показателей.

По выше приведённому обзору выявлено, что невозможно приспособить этих приборов для исследования подземных минерализованных вод в глубоких и узких пьезометрических скважинах.

Для определения концентрации подземных минерализованных вод в пьезометрических скважинах специалистами ООО «NELT» и ООО «Гидропечпроект» под руководством Давлатшоева С.К. был разработан кондуктометр «NELT» (рис. 1). В табл. 1 приведены его технические характеристики.

Концентрация определяется по УЭП раствора, измеренной индукционным методом [8, 9]. Область применения кондуктометра: мониторинг минерализации подземных вод; приготовление и использование водно-соле-

вых растворов.

При сравнении кондуктометра «NELT» с ведущими зарубежными аналогами производителей ABB, Nach Lange, Endress Hauser можно сделать следующие выводы:

- комплекты приборов данных компаний для измерения УЭП состоят из датчиков и вторичных приборов. Длина соединительного кабеля у этих приборов меньше 30 м, поскольку аналоговые сигналы, идущие по этому кабелю, чувствительны к наводкам и помехам;

- погружной зонд кондуктометра «NELT» является цифровым сенсором и допускает удаление от регистратора на расстояние более 100 м по интерфейсу цифровой токовой петли. Питание зонда и информация от него использует четырёхжильный телефонный провод ТРП 724, который к тому же служит и силовым тросом;

- питание приборов вышеуказанных компаний обычно осуществляется напряжением 220 или 36 В, при потребляемой мощности более 10 Вт;

- кондуктометр «NELT» питается напряжением 12 В при потребляемой мощности менее 1 Вт.

Таблица 1

Технические характеристики кондуктометра «NELT»

Наименование параметров	Значение параметров
Диапазон измеряемых концентраций	2-300 г/л
Точность измерения концентрации NaCl	±3 г/л
Температура измеряемого раствора	10-30° С
Точность измерения температуры	±0,5° С
Интерфейс погружного зонда	Токовая петля 1-100 мА
Интерфейс регистратора	RS-232
Время измерения	2 с
Потребляемая мощность	1 Вт
Средний срок службы погружного зонда	5 лет
Средний срок службы регистратора	10 лет
Длина информационного кабеля	До 100 м
Масса погружного зонда	850 г
Габариты погружного зонда	301x34 мм
Габариты регистратора	140x100x30 мм
Питание прибора	Встроенное, 12 В

Прибор может быть калиброван на изменение концентрации любых не агрессивных растворов электролитов.

Требования к измерительной ячейке минимальные (рис. 2). Она может быть из любого материала, главное условие-зазор

между измерительным кольцом и стенками сосуда должен быть не менее 15 мм и в отверстия кольца не должно находиться посторонних предметов, грязи или пузырьков воздуха, присутствие которых исказит результаты измерений.

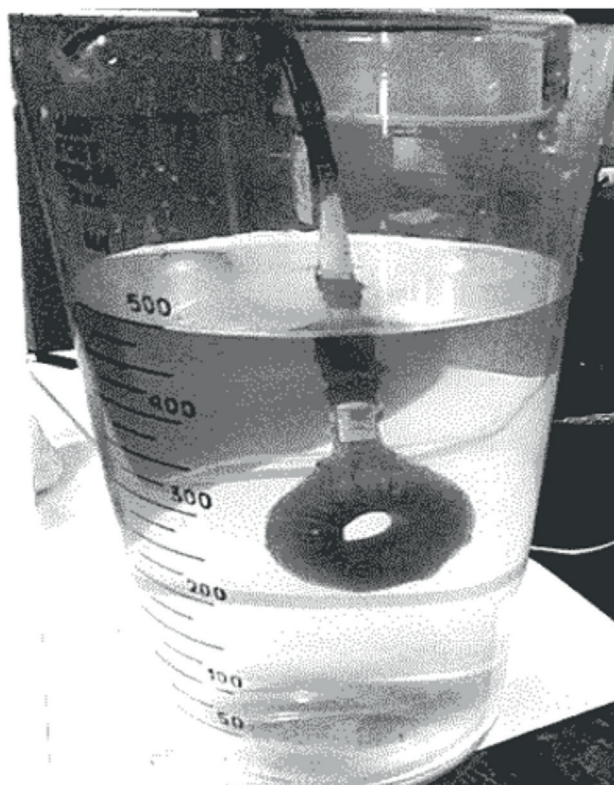


Рис. 2. Измерительная ячейка с кольцом кондуктометра

Вывод

В результате аналитического обзора методов и приборов кондуктометрического измерения электропроводности жидких сред, выявлено, что кондуктометрические методы и приборы широко развиты в сфере лабораторного анализа. А также кондуктометрические методы широко применяется для анализа жидких сред и управления технологическим процессом. Однако применения кондуктометрических методов для измерения электропроводности подземных минерализованных вод в скважинах имеет перспективы дальнейшего научного и практического развития.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лопатин Б.А. Теоретические основы электрохимических методов анализа / Б.А. Лопатин. -М.: Высшая школа, 1975. -296 с.
2. Шауб Ю.Б. Кондуктометрия / Ю.Б. Шауб. -Владивосток: Дальнаука, 1996. -488 с.
3. Худякова Т.А. Кондуктометрический метод анализа /Т.А. Худякова, А.П. Крешков. -М.: Высшая школа, 1975. -207 с.
4. <https://kazinmetr.kz/bd/reestr/utsi/32186/>
5. <http://famaga.ru/upload/uf/81b/81b7b6bbae2f9f7fc4197dc4bef85374.pdf>
6. <http://www.all-pribors.ru/opisanie>

7. <http://hanna.nt-rt.ru/images/manuals/EC214215.pdf>
8. Давлатшоев С.К. Кондуктометрический способ и аппаратура измерения уровня минерализации в пьезометрических сетях / С.К. Давлатшоев, М.М. Сафаров // Вестник технологического университета, №18, Т. 20. -Казань, 2017. -С. 45-52.
9. Давлатшоев С.К., Хайриддинов Г.К., Сафаров М.М. Устройства для геохимического мониторинга оснований плотины Рогунской ГЭС./ С.К. Давлатшоев, Г.К. Хайриддинов, М.М. Сафаров // X Межд. теплофизическая школа «Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий». -Душанбе, 2016. -С. 309-314.