

УДК 614.78; 628.1; 628.5

ОБ ОПЫТЕ ПРИМЕНЕНИЯ ДИЭЛЬКОМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АРТЕЗИАНСКОЙ ВОДЫ

*Назаров А.Д., Серов А.Ф., Тарарин В.Н.
Институт теплофизики им. Кутателадзе СО РАН
г. Новосибирск*

Объектом исследований являлся проточный метод и средства регистрации зависимости действующего значения диэлектрической проницаемости и проводимости воды из артезианской скважины от концентрации растворенных минеральных солей. Полученные результаты исследований позволят создать доступный по цене прибор для поточного метода определения качества воды на локальных источниках.

Природные воды представляют в основном растворы смесей сильных электролитов. Минеральную часть воды составляют ионы Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- . Эти ионы и обуславливают диэлектрическую постоянную и электропроводность природных вод. Присутствие других ионов, например, Fe^{3+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Al^{3+} , NO_3^- , HPO_4^- , H_2PO_4^- не сильно влияет на электрофизические параметры, если эти ионы не содержатся в воде в значительных количествах. Состав вод позволяет определить принадлежность её к стратиграфическому горизонту. Значительные временные затраты на проведение лабораторных исследований не позволяют непрерывно отслеживать динамику состава проб и оперативно реагировать на внезапные изменения показателей загрязнения влаги. Высокая скорость определения принадлежности вод к тем или иным горизонтам, позволяет установить режим эффективного использования воды в эксплуатируемом бассейне.

По опыту подразделений санэпиднадзора одним из основных методов контроля является гидрохимический метод наблюдения за составом ионов в пробах воды. В настоящее время детализация гидрохимической характеристики воды, которая выносится из скважины, проводится по ряду показателей: основным ионам, общей минерализации, гидрохимическим коэффициентам и активно ведется разработка электро-физикохимических методов. Ряд авторов отмечают, что появление в водной среде многих загрязняющих веществ и их комбинаций можно зафиксировать по изменению макроскопических физических показателей среды, таких как диэлектрическая проницаемость, удельная проводимость, вязкость, теплопроводность [1].

Из известных методов физического контроля диэлькометрия наиболее чувствительная к изменению состава, поскольку диэлектрические характеристики определяются не только составом, но и структурой водных систем. Вопросам, связанным с измерением диэлектрической проницаемости и удельной проводимости, посвящены многочисленные исследования. Наиболее перспективным методом повышения разрешающей способности системы диэлькометрического регистратора является схема LC-генератора с самовозбуждением колебаний в контуре с измерительной ячейкой [2, 3]. Активные потери и диэлектрическая постоянная пробы изменяют угловую частоту колебаний генератора $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$, содержащего только индуктивность L и емкость C . Влияние потерь на частоту описывается следующим соотношением:

$$\omega = \omega_0 \sqrt{\frac{1 + \text{tg}^2 \delta}{1 + 1/Q^2}},$$

где $tg \delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь в диэлектрике конденсатора; Q – добротность контура на частоте резонанса.

Разрешающая способность предложенного метода определяется в основном добротностью колебательного контура и только при низкой добротности (больших потерях) наблюдается значительное изменение частоты колебаний.

Для оценки разрешающей способности и усовершенствования предложенного метода был изготовлен специальный коаксиальный объем измерительной ячейки, позволяющий выполнять измерение объемной активной и реактивной проводимостей пробы (рис. 1). Эталонной пробой являлась дистиллированная вода. Испытания показали, что точность измерения емкости с помощью предложенной измерительной ячейки на 10 – 15% выше, по сравнению с другими конструкциями измерительных ячеек. На рис.1 приведен эскиз измерительной ячейки и схема подключения цифрового двухчастотного измерительного моста.

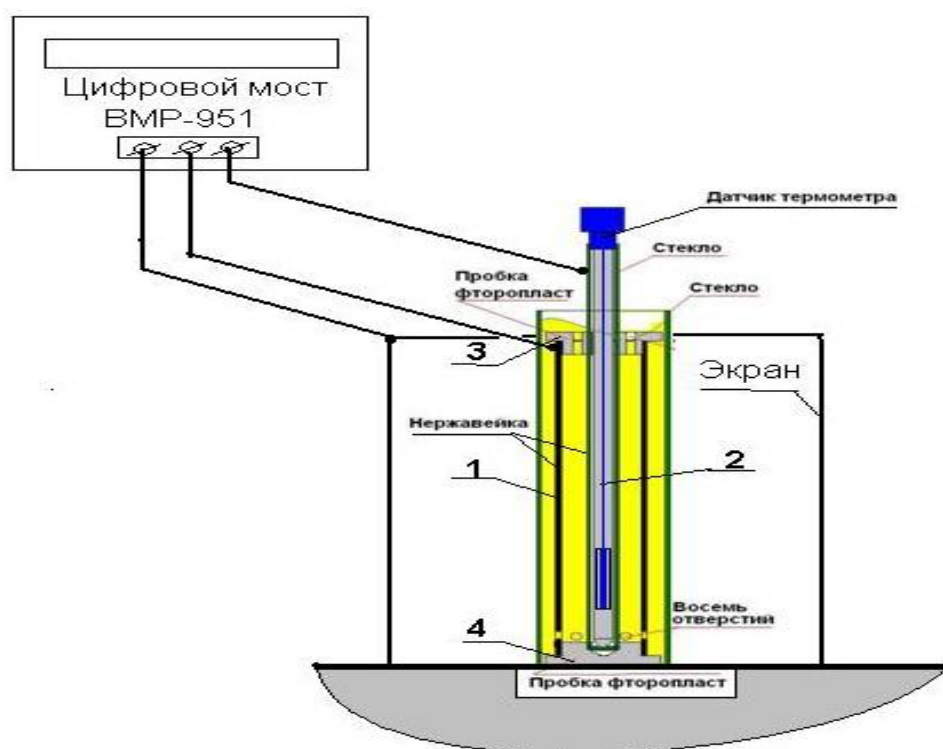
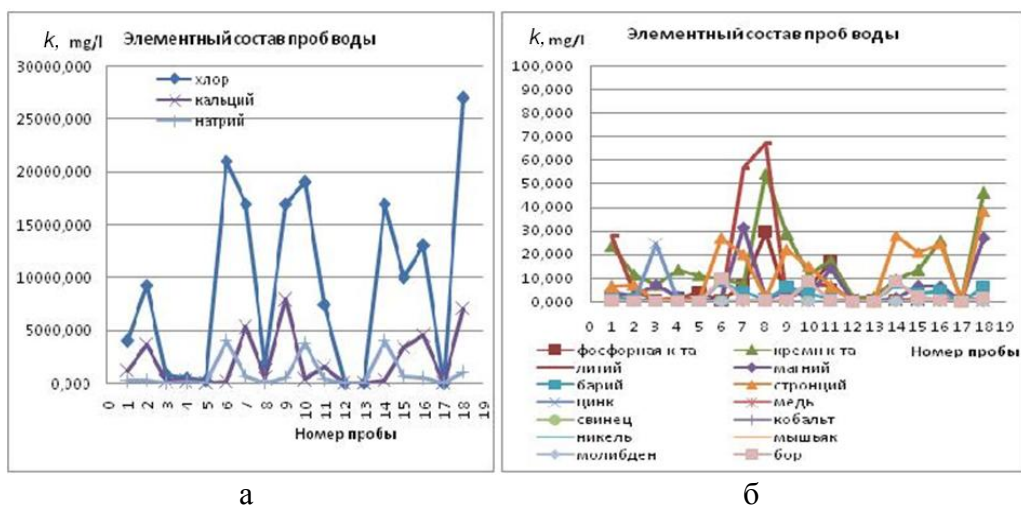


Рис. 1. Измерительная ячейка

Коаксиальные электроды (1, 2) измерительной ячейки изготовлены из легированной стали, изолирующие оболочки выполнены из кварцевого стекла, центрирующие шайбы (3, 4) – фторопласт. В полость центрального электрода встроен датчик температуры лабораторного термометра с погрешностью $dT = \pm 0.1 \text{ } ^\circ\text{C}$. Контрольные величины проводимости и емкости измерительной ячейки определялись при температуре $T = 20^\circ\text{C}$ и равнялись: $S_0 = 5 \text{ mks}$; $C_0 = 10.2 \text{ pF}$.

В качестве объекта исследования были использованы пробы воды: артезианской, водопродонной, природной из осадков (дождь, снег) и техногенной из скважин различного срока эксплуатации. Пробы воды с описанием элементного состава были любезно представлены коллегами из Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук.



а б

Рис. 2. Концентрация элементов в пробах воды.

2а – крупный масштаб концентрации примеси; 2б – мелкий масштаб для отображения примеси небольшой концентрации.

На рисунках (2а и 2б) приведён элементный состав проб в двух масштабных диапазонах концентрации примесей. На первом (рис. 2а) концентрации примеси k показаны в масштабе от $0 mg/l$ до $30000 mg/l$, что позволяет увидеть минералогический и химический состав примесей большой концентрации в пробах воды. На втором (рис. 2б) в тех же пробах концентрация представлена в диапазоне от $0 mg/l$ до $100 mg/l$. В этом представлении отображен состав примесей, имеющий небольшую концентрацию в пробах воды.

Полученные данные об уровне и составе примесей позволяют определить чувствительность исследуемого метода, выбрать полосы рабочих частот для измерения активной и реактивной проводимостей, и определить требования к микропроцессорному обрабатывающему устройству.

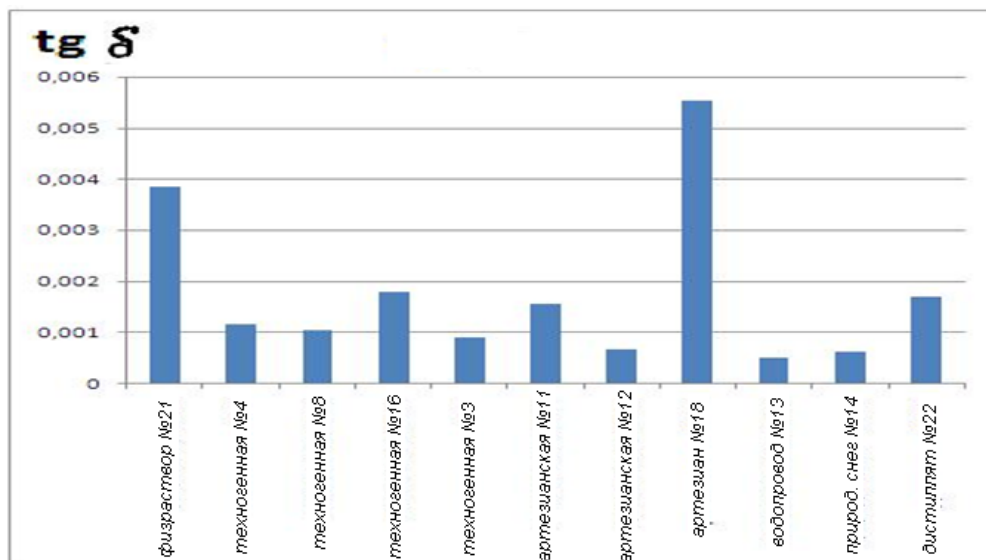


Рис. 3. График потерь для ряда проб воды.

На первом этапе исследований была определена зависимость потерь в объеме измерительной ячейки на частоте 100 Гц для проб воды. Анализ зависимости измеренного тангенса потерь (рис. 3) в контуре измерительной ячейки показал, что нет

четкой зависимости значения тангенса потерь от элементного состава и концентрации загрязнения воды.

На втором этапе были отдельно измерены электрическая емкость и потери в ячейке с пробами воды для двух частот – 100 Гц и 1000 Гц. По полученным данным вычислялось отношение диэлектрической постоянной ϵ_{100} на частоте 100 Гц к диэлектрической постоянной ϵ_{1000} на частоте 1000 Гц для каждой пробы воды: $\gamma_\epsilon = \epsilon_{100} / \epsilon_{1000}$. Как показатель влияния загрязнения воды была введена величина: $\zeta_\epsilon = \gamma / \epsilon_d$, где ϵ_d – диэлектрическая проницаемость дистиллированной воды. На рис. 4 в графическом виде приведены значения ζ_ϵ для каждой пробы воды.

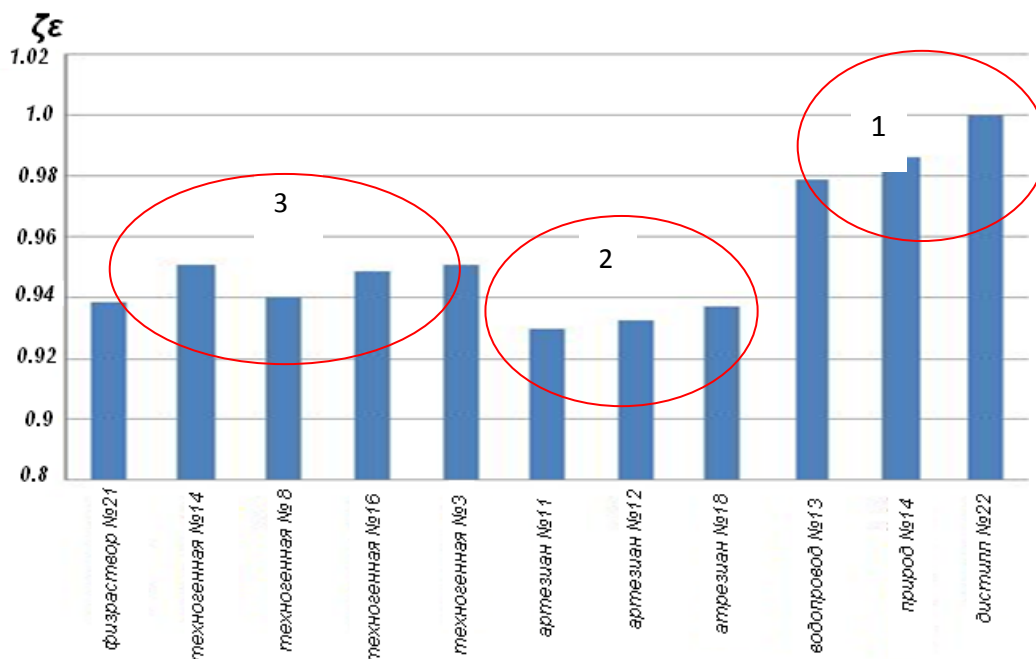


Рис 4. Соотношение диэлектрической постоянной для ряда проб относительно дистиллята

- 1- пробы дистиллята водопроводной воды и воды из снега ($k < 10$ mg/l)
- 2- пробы из артезианских скважин с низким уровнем загрязнения ($k \sim 15$ mg/l)
- 3- пробы из технических скважин с высоким уровнем загрязнения ($k > 500$ mg/l)

Для анализа концентрации примесей в пробах воды с помощью потерь был введен аналогичный показатель $\zeta_s = \gamma_s / s_d$, где $\gamma_s = S_{100} / S_{1000}$; S_{100} , S_{1000} – величины активных потерь в измерительной ячейке с пробой воды на частоте 100 Гц и 1000 Гц, соответственно; s_d – активные потери в ячейке с дистиллированной водой. На рис. 5 показаны значения переменной ζ_s для каждой пробы.

Анализ показывает, что все представленные пробы обладают меньшей величиной ζ_ϵ относительно эталонной ячейки с дистиллятом (проба № 22, $\epsilon_0 \sim 80$). Анализ полученных данных показывает (рис. 2, 4, 5), что хорошо прослеживается связь диэлектрической проницаемости пробы с концентрацией примеси и слабое влияние концентрации на величину потери. Группа проб под № 1 (рис. 4) объединяет воду, прошедшую очистку и поданную по водопроводу, природные осадки (снег) и дистиллят, который был принят за эталон. Во вторую группу вошли пробы из различных скважин с низкой концентрацией различных минералов ($k \sim 15$ mg/l). В третьей группе объединены пробы влаги из газоконденсатных скважин с высокой минерализацией, где присутствуют различные техногенные смеси. Степень загрязнения пробы воды хорошо отражается и в сравнительных показателях диэлектрической постоянной для проб первой и третьей групп (рис. 4).

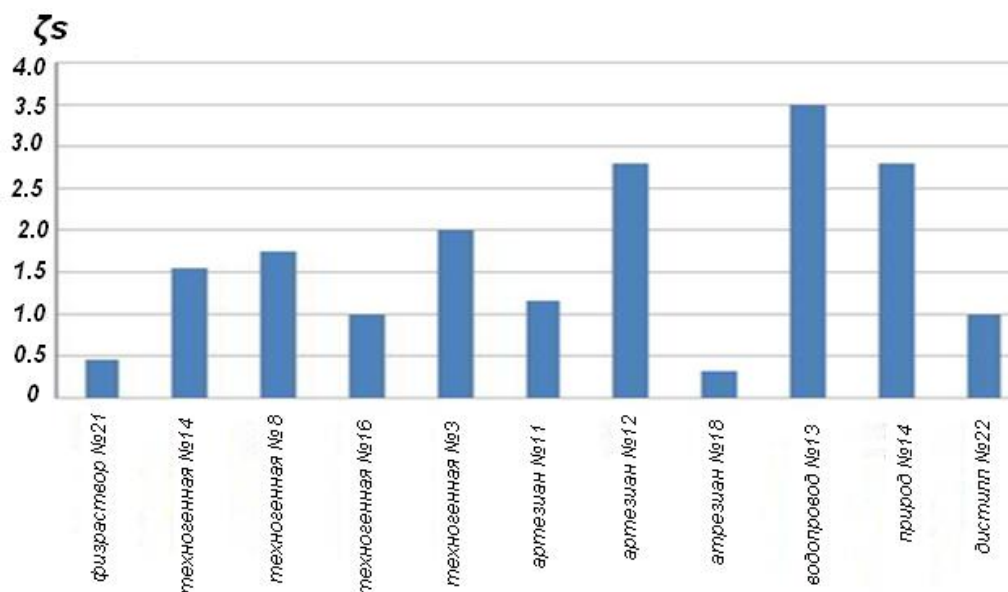


Рис. 5. Соотношение потерь для ряда проб относительно дистиллята.

Выводы

Номенклатура известных средств диэлькометрического спектрального анализа в широкой полосе частот весьма ограничена, а стоимость таких приборов зачастую превышает стоимость многофункционального комплекса приборов для лабораторных исследований. Таким образом, научные разработки по созданию диэлькометрических измерительных преобразователей, обеспечивающих обнаружение внезапных изменений экологических показателей пресноводных сред, с возможностью оценки уровня и вида загрязнения за счет увеличения чувствительности к действительной составляющей комплексной диэлектрической проницаемости и понижение рабочих частот до сотни герц, весьма актуальны.

Полученные данные позволяют определить основные конструктивные параметры устройства, выбрать рабочие частоты для измерения активной и реактивной проводимости и определить требования к программному обеспечению микропроцессорного контроллера.

Литература

1. Подкин Ю.Г., Мишков М.Ю. Вариационное измерение параметров СG-двухполюсников в широкой полосе частот// IV Электронная заочная конференция с международным участием «Молодежь, студенчество и наука XXI века» // -Ижевск, 2004. - с.24-28.
2. Мишков М.Ю. Особенности конструирования вторичных измерительных диэлькометрических преобразователей. //Приборостроение в XXI веке// Труды 4-й научно-технической конференции с междунар. уч. - Ижевск, 2007, с. 31-36.
3. Подкин Ю.Г., Мишков М.Ю., Лихачев А.М. Оценка разрешающей способности системы диэлькометрического экологического мониторинга. Теоретические основы // «Экологические системы и приборы» //, 2008, №7, с. 1115.