

Достоверная детекция слабых излучений ЭИС методом

С.Кернбах*, О.Кернбах*

Аннотация—В данной работе¹ описана методика ЭИС² измерений, связанных с детекцией 'слабых излучений', обладающих неэлектромагнитной, неакустической, нетепловой и немеханической природой. 'Эффект формы' используется в качестве тестового источника такого излучения. Предложенный подход с источником излучения (генератор 'Контур') и детектором (ЭИС спектрометр) может быть применен для демонстрационных целей, где локальное или нелокальное воздействие надежно детектируется посредством измерения импеданса. Статистически существенное количество повторных измерений показало 93,3% повторяемости результата, что позволяет проведение репликационных, лабораторных и промышленных измерений различных эффектов 'слабых излучений' широко признанным методом. Малые изменения проводимости на уровне 10^{-9} - 10^{-11} См/см требуют аккуратного обращения с систематическими и случайными погрешностями при проведении измерений, а также строгого следования экспериментальной методологии.

I. Химия и физика ЭИС ИЗМЕРЕНИЙ: ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ МЕТОД

Измерения электрохимических параметров воды, начиная с работ В.А.Соколовой [2] в начале 80х годов, А.В.Боброва [3], С.В.Зенина [4], а также многочисленные работы [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11] указывают на дифференциальные измерения удельной электропроводности воды и водных растворов как на признанную методику детекции и измерения эффектов 'слабых излучений'. Эти исследования уже вышли на стадию отработанной технологии, а соответствующие приборы находятся на рынке. Данная работа имеет экспериментально-методологический характер, ее задача показать схемы и методы ЭИС измерений (например, для пассивных 'объектов-активаторов', активных генераторов, геобиологических измерений), которые демонстрируют высокую (>90%) повторяемость результатов.

ЭИС измеряет частотный спектр электрической проводимости раствора, зависящий от количества ионов и ионной подвижности; чем больше ионов содержит раствор, тем выше его электропроводность. Параметры

*Cybertronica Research, Research Center of Advanced Robotics and Environmental Science, Melunerstr. 40, 70569 Stuttgart, {serge.kernbach, olga.kernbach}@cybertronica.co

¹Данная работа представляет собой перевод и адаптацию на русский язык расширенной версии [1].

²Электрохимическая Импедансная Спектроскопия

жидкостей, такие как ионное произведение, температура, вязкость и различные процессы, связанные с дегазацией, ион-ионными и ион-дипольными взаимодействиями, поляризацией электродов и электрохимическими реакциями с растворенными ионами также влияют на электрическую проводимость [12]. Для того чтобы сделать электрохимические измерения стабильными, рекомендуется проводить ЭИС эксперименты с дистиллированной водой. Проводимость чистой воды зависит главным образом от двух факторов: самопроизвольной ионизации (автопротолиз) и растворения атмосферного CO_2 в воде. Автопротолиз в воде протекает с образованием катионов гидроксония H_3O^+ и гидроксид-ионов OH^- :



При контакте с воздухом CO_2 из атмосферы быстро растворяется в воде с образованием H_2CO_3



который является нестабильным и диссоциирует в соответствии с:



H^+ и HCO_3^- являются источником увеличения проводимости при контакте воды и воздуха [13]. В зависимости от фактической концентрации CO_2 в атмосфере, повышение проводимости воды составляет около 0.8-1.5 мСм/см [14], [15]. Автопротолиз и растворение CO_2 являются нелинейными, зависящими главным образом от температуры и механических воздействий на жидкость. Объяснение автопротолиза предложено в [16] – случайные тепловые флуктуации в молекулярном движении иногда производят достаточно сильное электрическое поле для преодоления кислородно-водородной связи, что приводит к образованию OH^- и H_3O^+ . Изменение скорости автопротолиза через молекулярные флуктуации (что представляет собой вероятностные механизмы в распределении Больцмана) является одним из возможных объяснений изменения проводимости (и pH) жидкостей при воздействии 'слабых излучений'.

С физической стороны проводимость (удельная электропроводность) κ отражает способность жидкости проводить электричество и измеряется в Сименс на метр (См/м). Это обратная величина к удельному сопротивлению τ , которое измеряется в Ом-метр (Ом·м)

и показывает насколько сильно материал оказывает сопротивление прохождению электрического тока. Полное сопротивление (или импеданс) $Z(\omega)$ представляет собой комплексную величину (состоящую из активного сопротивления R и реактивного сопротивления X) в зависимости от частоты ω приложенного сигнала и измеряется в Ом; его модуль определяет отношение амплитуды напряжения к амплитуде тока в жидкостной ячейке; аргумент импеданса показывает сдвиг фазы между током и напряжением.

Для измерения импеданса в ЭИС измерителе используется автобалансируемый мост [17], где тестовая система возбуждается V_V сигналом, см. Рис. 1. Сигнал

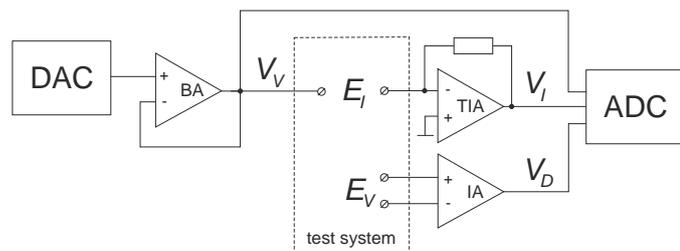


Рис. 1. Схема ЭИС измерений, см. описание в тексте.

для V_V генерируется ЦАП и буферизуется с помощью операционного усилителя. Протекающий ток I через жидкость преобразуется в напряжение V_I трансимпедансным усилителем. Синтез V_V сигнала происходит путем прямого цифрового синтеза с 32-битным частотным разрешением, сигналы оцифровываются двумя синхронными АЦП одновременно для V_V и V_I сигналов. В ЭИС системе применяются внешние аналоговые схемы для согласования импеданса. Пара электродов E_I используется для измерения тока $V_V \rightarrow V_I$ (так называемая двух-электродная система), другая пара электродов E_V - для измерения дифференциального потенциала, это представляет собой так называемую четырех-электродную систему. MU EIS позволяет использовать гармонические и не гармонические сигналы V_V для возбуждения электрохимической системы (например, для быстрой ЭИС). ЭИС спектрометр не использует оконные функции [18], [19]; это позволяет избежать специфичных ошибок такого метода. Потенциальный вход с E_V электродами имеет очень высокий входной импеданс (входной ток смещения составляет около ± 70 рА), что дает возможность измерения биопотенциалов в электрофизиологических приложениях. В этих случаях ток, протекающий через тест-систему, также может быть использован для электростимуляции. ЭИС измерения часто используют RMS импеданс, который имеет сходное значение, как и модуль импеданса [9].

При измерении проводимости необходимо учитывать постоянную ячейки C (единица СИ - m^{-1}), которая определяет отношение расстояния между электродами к площади электродов, отсчитываемых от определенного сопротивления раствора известной удельной проводимости. Удельное электрическое сопротивление в

случае комплексного импеданса Z определяется

$$\tau = Z * C^{-1} \quad (4)$$

и, соответственно, для проводимости

$$\kappa = Z * C. \quad (5)$$

ЭИС измерения иногда используют только значение Z . Необходимо помнить, что для вычисления проводимости эти значения должны быть умножены на постоянную ячейки C для используемых электродов.

Дифференциальные ЭИС измерения выполняются в двух контейнерах, имеющих одинаковые химические, температурные, электрические и механические условия, см. Рис.2. Такая схема позволяет компенсиро-



Рис. 2. Внешний вид ЭИС спектрометра.

вать нелинейности, более того, она дает возможность сравнивать долговременное электрохимическое поведение двух жидкостей при равных условиях окружающей среды. Так как 'слабые излучения', которые имеют неэлектромагнитный, неакустический, нетепловой и немеханический характер, изменяют скорость электрохимических процессов (см. Раздел VIII-A), то такое прямое сравнение облученных и необлученных образцов позволяет идентифицировать факт воздействия этих излучений и производить их измерение. Проведение точных измерений требует понимания методологии, источников погрешностей и настройки параметров ЭИС спектрометра.

Данная работа имеет следующую структуру: разделы II, III, IV посвящены погрешностям и технической стороне измерений. Разделы V, VI, VII описывают три методологии измерений, а анализ статистически-значимого числа повторений показан в разделе VIII. Заключение в разделе X завершает эту работу.

II. КАКИМ ТРЕБОВАНИЯМ ДОЛЖНО УДОВЛЕТВОРЯТЬ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СЛАБЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ?

Электропроводность очищенной воды составляет около $1-5 \mu\text{См}/\text{см}$, стандарт ISO 3696 (1987) определяет проводимость 1-го класса очищенной воды как

0,1 $\mu\text{См}/\text{см}$ при 25°C, что эквивалентно удельному сопротивлению 10 МОм·см при 25°C. Предположим, что при ЭИС методологии III (см. Раздел VII) 'слабое излучение' изменяет удельное сопротивление от 0,5 МОм·см до 0,51 МОм·см, а затем до 0,52 МОм·см. Это соответствует изменениям проводимости от 2 $\mu\text{См}/\text{см}$ до 1.9607 $\mu\text{См}/\text{см}$ и 1.9230 $\mu\text{См}/\text{см}$ соответственно. Изменения, детектируемые в режиме непрерывных измерений (см. Разделы V и VI) еще меньше – отклонения около 20-200 Ом·см от тренда 0,5 МОм·см соответствует изменению проводимости 800-80 пико-См/см от тренда 2 $\mu\text{См}/\text{см}$. Другими словами, для того чтобы обнаружить эти изменения, разрешение измерительного оборудования должно быть в диапазоне нано-/пико-См/см с очень низким уровнем шума.

Во-вторых, электрохимические изменения при 'слабых излучениях' происходят очень медленно, в ряде случаев скорость изменений составляет около 20-200 Ом·см в час для дистиллированной воды (см. Разделы V, VI). Измерительное оборудование должно быть в состоянии проводить долговременные измерения в стабильных условиях. Как правило, кондуктометры выполняют так называемые 'компенсированные' измерения, эти устройства измеряют температуру жидкости и вычисляют коррекцию проводимости. Тем не менее, истинная зависимость проводимости от температуры носит нелинейный характер, который зависит также и от временной динамики проводимости [13], [14], [20]. Таким образом, долговременные и/или точные измерения требуют стабилизации температуры и поддержание ее стабильной в течение всего цикла измерений.

Из-за поляризации электродов двухэлектродные устройства измеряют проводимость при переменном токе, частота которого обычно установлена на уровне 1-3 кГц. Калибровка измерений (которая также включает в себя постоянную ячейку) выполняется на этой частоте. Как показали эксперименты, эффекты, создаваемые 'слабыми излучениями', имеют разные частотные характеристики, поэтому измерения должны выполняться на разных частотах, как правило от 10 Гц до 100 кГц.

III. ПРОВЕРКА СИСТЕМАТИЧЕСКОЙ И СЛУЧАЙНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ЭИС ИЗМЕРЕНИЙ

Систематические и случайные погрешности ЭИС измерений происходят из-за разных условий в обоих контейнерах, в числе которых температура, скорость поглощения CO_2 , механические/электромагнитные воздействия и химические загрязнения образцов. Систематическая погрешность зависит в первую очередь от ЭИС метода, в то время как случайная погрешность зависит от того, каким образом подготавливался и выполнялся конкретный эксперимент. В этой связи рекомендуется проведение предварительной серии экспериментов для оценки и уменьшения погрешности измерений, связанных со 'слабыми излучениями'.

A. Дегазация жидкости

Дегазация – это удаление растворенных газов из воды или водных растворов. При повышении температуры жидкости (например, путем введения контейнеров в термостат) газы образуют пузырьки на твердых поверхностях (например, электродах), см. Рис. 3. Эти пузырьки газа (в особенности микропузырьки [21])

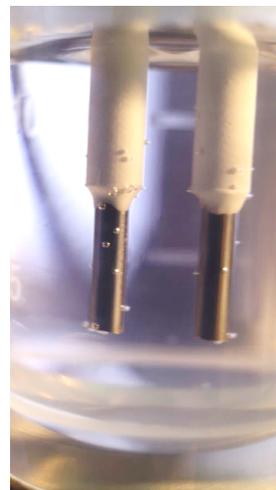


Рис. 3. Появление пузырьков на электродах при нагревании контейнера в термостате.

изменяют площадь поверхности электродов, которая соприкасается с водой и влияет на измерение проводимости. Таким образом, когда термостат с контейнерами с жидкостью достиг заданной температуры, пузырьки должны быть удалены с поверхности. Самый простой способ заключается в том, чтобы вынуть электроды из контейнера, а затем вставить их снова. Удаление пузырьков влияет на абсолютные значения импеданса, скорость изменений остается при этом практически неизменной, см. Рис. 4. Таким образом, этот шаг может

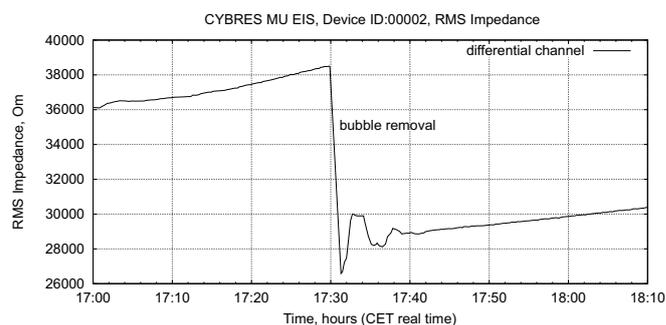
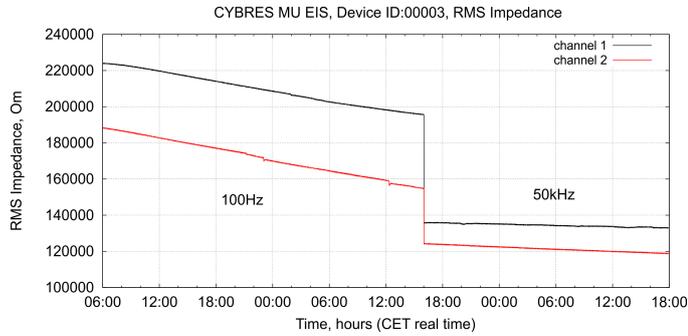


Рис. 4. Динамика дифференциального канала до и после удаления пузырьков.

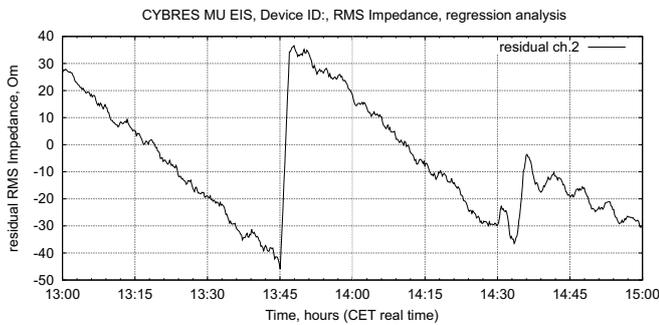
опускаться в тех случаях, когда анализируется только скорость изменений и можно пренебречь небольшими погрешностями измерения градиента, например при проведении экспресс-теста, см. раздел IX.

В. Правильная установка частоты и температуры

Правильная установка частоты и температуры имеет важное значение для стабильности ЭИС измерений. Общее правило для термостата – чем ниже температура, тем меньше образование пузырьков и тем меньше времени требуется, чтобы разогреть контейнеры. Однако при слишком низкой температуре термостаты не способны поддерживать заданную температуру. Оптимальная температура термостата должна быть на



(a)



(b)

Рис. 5. (а) Уменьшение RMS импеданса на частоте 100Гц и 50кГц в течение 60 часов измерений (в режиме непрерывных измерений). (б) Появление 'всплесков' в динамике длительного времени.

4°C – 5°C выше температуры окружающей среды.

Частота воздействует на несколько ЭИС процессов, среди них – деградация импеданса через насыщение воды ионами. Долговременное поведение RMS импеданса при 100Гц и 50кГц показано на Рис. 5(а). Чем выше частота, тем меньше деградация импеданса (и, следовательно, деградация удельной проводимости). Уровень шума также зависит от частоты: чем ниже частота, тем меньше шума содержит измеренный сигнал.

Другой источник погрешностей, который возникает только в долговременных измерениях, имеет отношение к электролизу на переменном токе [22]. Критическая плотность тока электролиза изменяется с частотой: чем выше частота, тем выше плотность критического тока [23]. Образование микропузырьков газа на электродах через электролиз объясняет появление 'всплесков', как показано на Рис. 5(б). Чтобы удалить 'всплески', необходимо уменьшить приложенное напряжение и/или увеличить частоту.

С. Влияние внешней температуры при измерениях с термостабилизацией образцов

Когда термостат включен и жидкостные образцы помещены в спектрометр, ЭИС измерения не зависят существенно от температуры внешней среды при условии, что она меняется достаточно медленно, так что термостат может компенсировать эти изменения. На Рис. 6 приведены экспериментальные данные, где внешняя температура была увеличена на 0,35°C в течение 70 минут. Изменение температуры термостатов составляла около 0,008°C, соответствующие изменения RMS импеданса было около 3-4 Ом в обоих каналах.

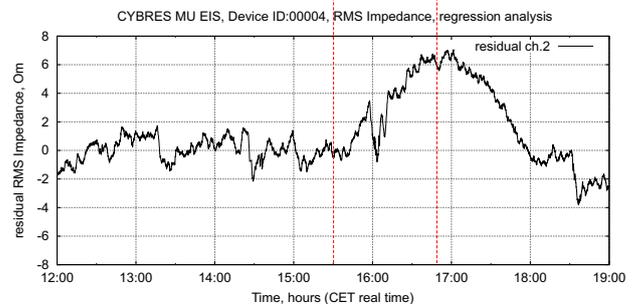
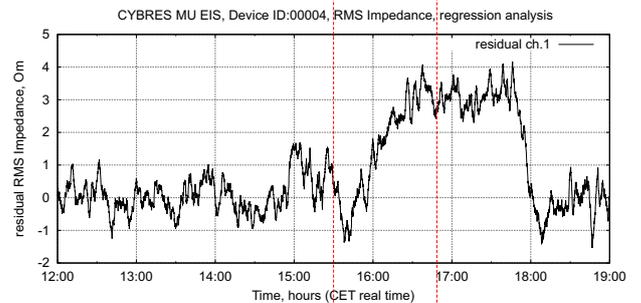
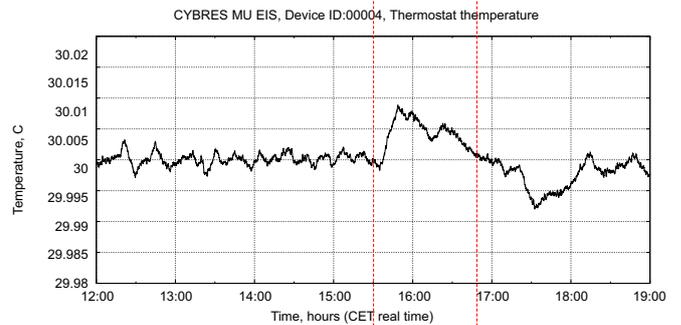
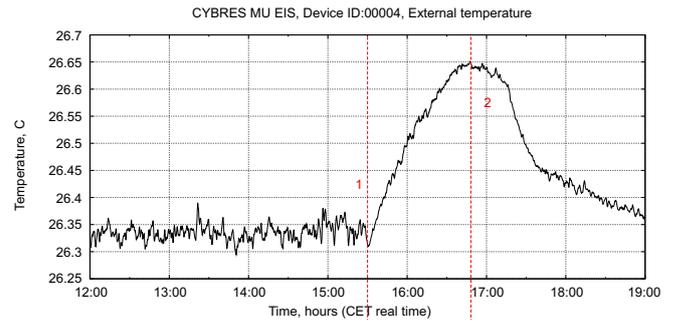


Рис. 6. Пример ЭИС измерения с вариацией внешней температуры.

D. Повторяемость измерений до облучения

Дифференциальные измерения предполагают, что условия в обоих контейнерах с жидкостями сходны и не изменяются в процессе измерений. Рекомендуется иметь одинаковый уровень жидкости в контейнерах (полные контейнеры с 15 мл), избегать механических воздействий и оставлять достаточно времени для достижения заданной температуры (30-60 минут) при использовании термостата. Повторяемость результата до воздействия в таких условиях составляет около $\pm 4\text{Om}$ в режиме спектроскопии, см. Рис. 7, при условии, что все измерения проводятся непосредственно друг за другом, пузырьки газа были удалены, а напряжение установлено на минимальном уровне (см. Раздел VII о воспроизводимости измерений после облучения).

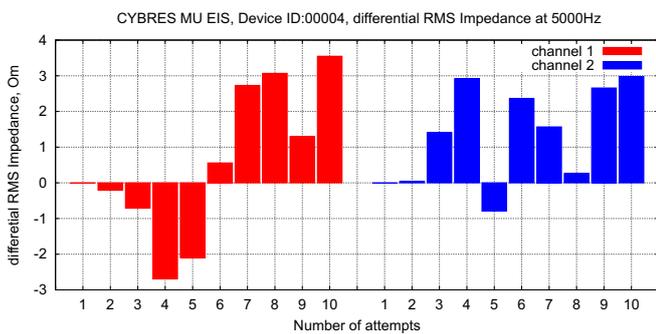


Рис. 7. Десять повторных измерений, проведенных непосредственно друг за другом в режиме спектроскопа. Результат первого измерения вычтен из результатов последующих измерений.

Однако измерения, проведенные с временной задержкой между измерениями или в разных экспериментах, будут отличаться друг от друга. Причина тому – ионные процессы в жидкости, связанной с автопротолизом и растворением CO_2 , а также дегазация, связанная с температурой. Причем эти процессы зависят как от подготовки жидкостей, так и от параметров измерений. Деграция импеданса показана на Рис. 5(a) и 8, см. также Раздел VIII-B.

Через некоторое время после начала измерений скорость деграции становится устойчивой. Это позволяет выполнять точные измерения, когда тренд аппроксимируется линейной регрессией и остаточные кривые демонстрируют отклонение от тренда после облучения. Этот подход используется в Разделах V и VI, а также в измерениях нелокальных явлений [24]. ЭИС является инвазивной техникой, т.е. сам процесс измерений влияет на электрохимические свойства, как пример, влияние частоты показано на Рис. 5(a), влияние частоты дискретизации – на Рис. 9. Поэтому общая рекомендация для проведения точных измерений заключается в уменьшении напряжения, приложенного к ячейке (до приемлемого уровня шума) и в сокращении времени активных измерений (например, использовать только одну частоту сканирования). Все параметры должны

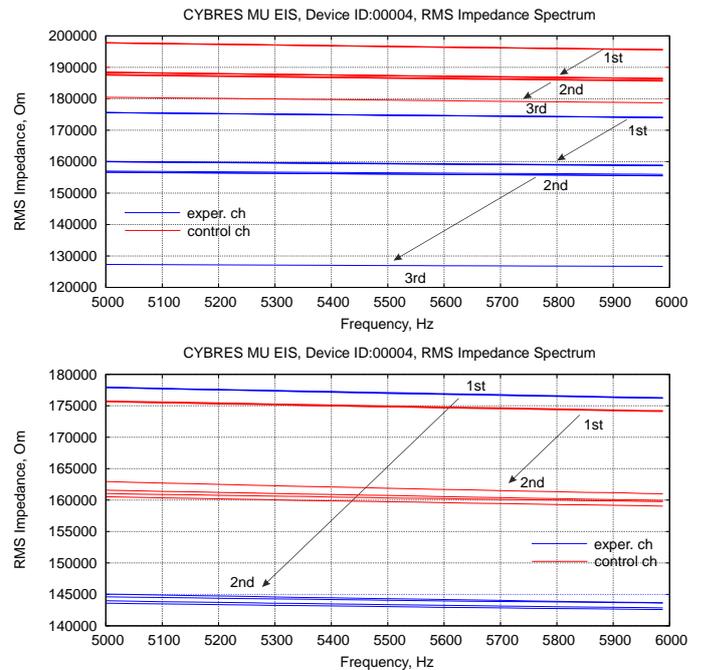


Рис. 8. Результаты экспериментов с внешним облучением проб, наблюдается различная скорость изменения электрохимических параметров, как экспериментального, так и контрольного (без облучения) каналов.

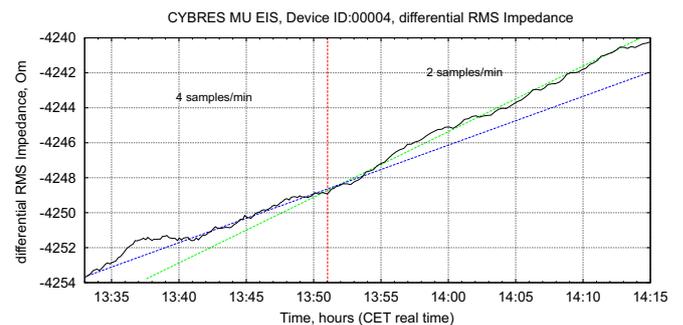


Рис. 9. Изменение дифференциального RMS импеданса до воздействия в режиме непрерывных измерений с двумя разными частотами дискретизации.

оставаться неизменными во время измерений. Измерения с внешним облучением образца, описанные в Разделе VII, более сложны, так как для этого нужно оценить тенденцию деграции до и после облучения (см. описание двойной дифференциальной методики в Разделе VII).

E. Насыщение датчиков

После выполнения множества повторных измерений, сенсоры могут стать 'насыщенными' и уменьшить чувствительность к 'слабым излучениям'. Происхождение этого явления до конца не изучено, предполагается, что часть излучения в какой-то степени 'накапливается' на измерительном оборудовании (что отчасти объясняет и 'фантомный эффект'). Насыщение является одной из причин, вследствие которой предполагается, что

измерения слабых излучений имеют вероятностный характер и должны выполняться несколькими независимыми датчиками параллельно. Когда датчик не реагирует на несколько экспозиций в течение одного измерения, вода должна быть удалена из контейнеров, а устройство на некоторое время выключено.

IV. ТЕСТОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ С ГЕНЕРАТОРОМ 'КОНТУР'

Для проведения тестовых измерений необходим источник 'слабого излучения'. Во многих случаях 'эффект форм' может удовлетворять требованиям, предъявляемым к такому источнику. Генератор 'Контур' состоит из ряда конусообразных геометрических структур. Это пассивное устройство без каких-либо источников электромагнитных излучений, см. Рис. 10. Как

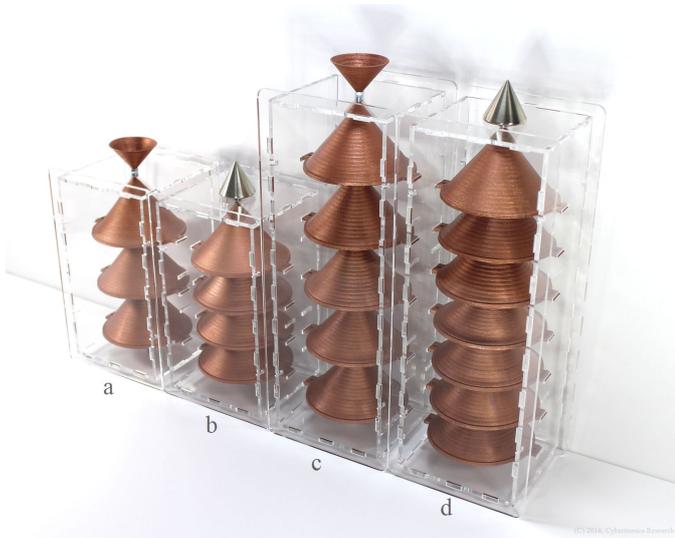


Рис. 10. Различные версии генератора 'Контур'.

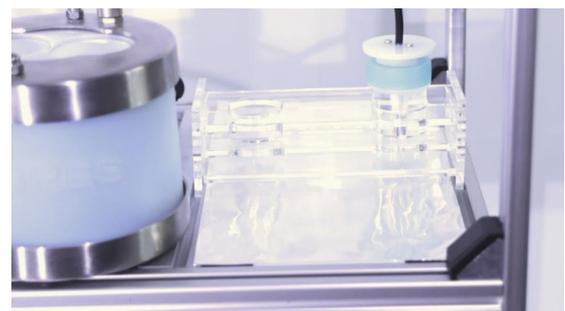
показали эксперименты, геометрические формы могут производить несколько эффектов, связанных феноменологически со 'слабыми излучениями'. В частности, жидкость, подвергнутая воздействию этого излучения, изменяет величину и фазу импеданса. Таким образом, влияние слабых излучений может быть продемонстрировано с высокой степенью повторяемости, когда контрольные и экспериментальные образцы хранятся в равных условиях, но экспериментальные образцы дополнительно облучаются 'Контуром'. Необходимо отметить, что 'интенсивность слабого излучения Контур' зависит от окружающей среды (поскольку он является пассивным 'концентратором-усилителем'). В ряде случаев требуется дополнительный источник излучения и/или генератор должен оставаться в экспериментальном месте за несколько дней до экспериментов, см. эксперименты в Разделе VIII-B. Таким образом, время экспозиции и сетап должны быть выбраны экспериментально. Как правило, минимальное время экспозиции составляет порядка 30-60 минут, а максимальное время может быть на уровне недель.

V. МЕТОДИКА ЭИС ИЗМЕРЕНИЙ I: ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОДИН КАНАЛ БЕЗ ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ

Воздействие в этой схеме производится только на один канал во время измерений. Экспериментальная установка показана на Рис. 11(a). ЭИС спектрометр



(a)



(b)

Рис. 11. (a) Экспериментальный сетап для методологии I с воздействием на один канал во время измерений; (b) Алюминиевая фольга под экспериментальным контейнером.

размещается на платформе таким образом, что оба контейнера находились по возможности дальше друг от друга. Один контейнер помещается над 'Контуром' так, чтобы генератор мог быть внесен и вынесен без меха-

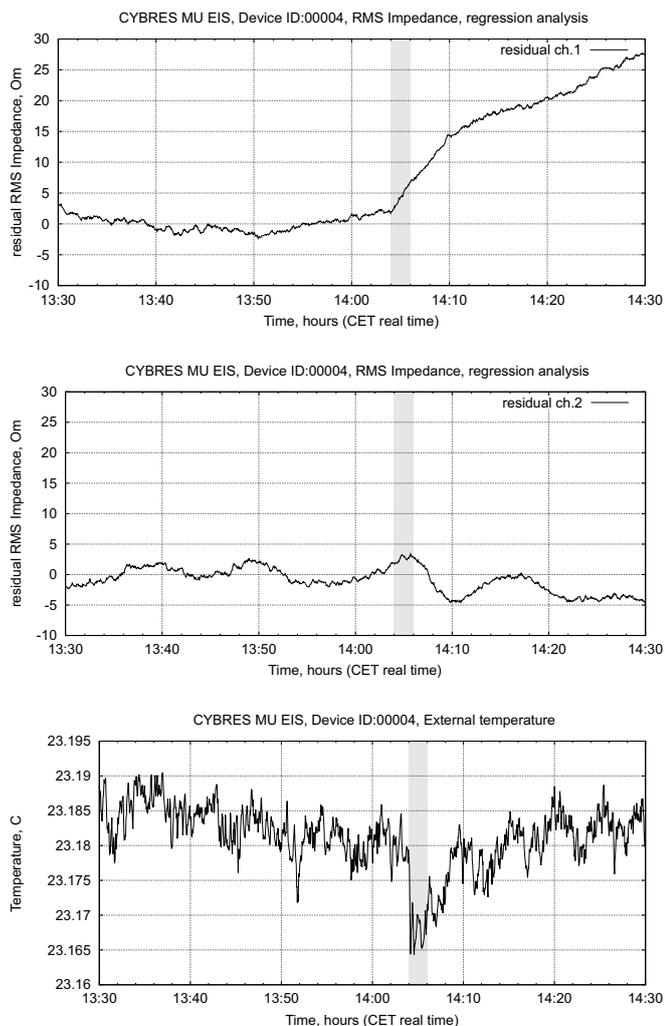


Рис. 12. Пример ЭИС измерений с методологией I и воздействием только на один канал (режим непрерывных измерений при 5кГц).

нического воздействия на жидкости. Экспериментальный контейнер и генератор разделены металлическим барьером, как показано на Рис. 11(b). Это позволяет избежать возможных электростатических явлений, производимых металлическими частями генератора. Методика проведения эксперимента следующая:

1. Подготовка (этот шаг общий для всех схем). Используйте бидистиллированную, дистиллированную или деминерализованную воду. До начала экспериментов оба контейнера следует ополоснуть дистиллированной водой. Оставьте воду в той же комнате для выравнивания температуры. Комната с ЭИС спектрометром должна быть закрытой, без солнечного света и активных ЭМ излучателей.

2. Измерение фона. Установите частоту в режиме непрерывного измерения и начните измерения. Необходимо подождать (обычно это происходит через 2-5 часов после начала измерений), пока показания RMS импеданса станут более или менее линейными в течение

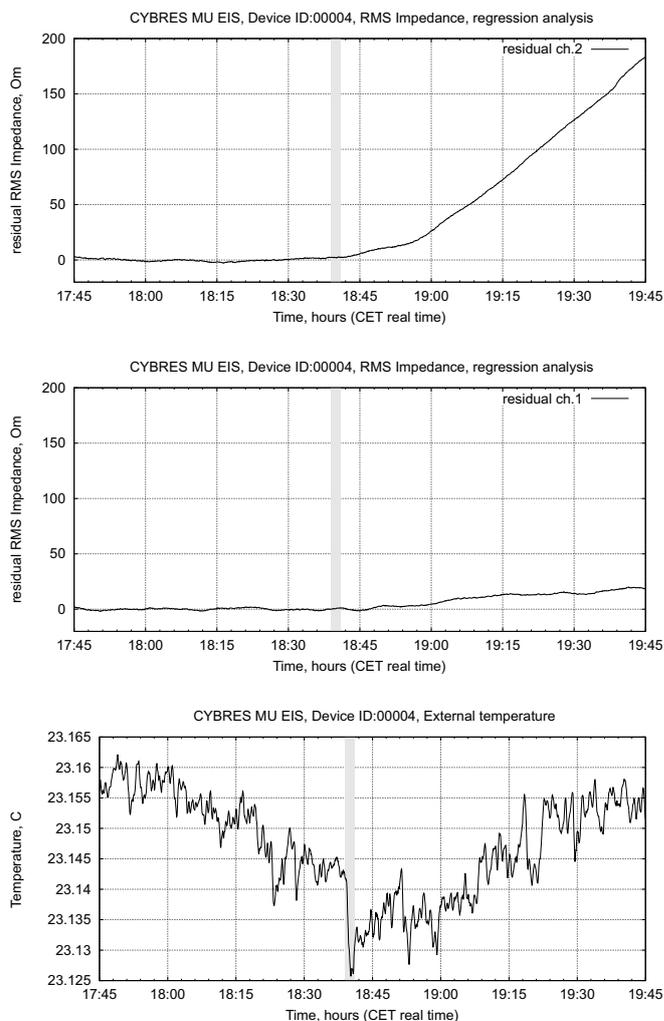


Рис. 13. Пример ЭИС измерений с методологией I и воздействием только на один канал (режим непрерывных измерений при 5кГц).

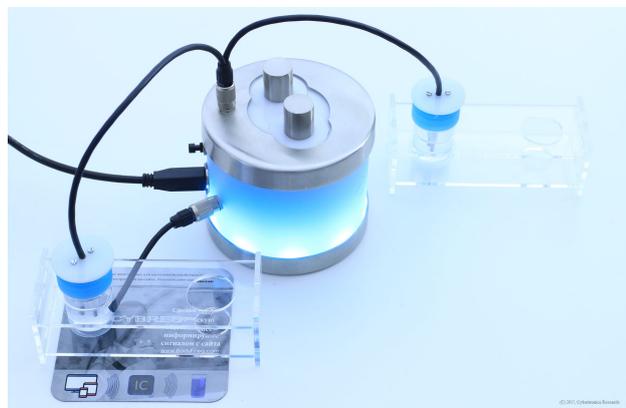
30-60 минут. Не переходите к шагу 3, пока ЭИС кривые имеют значительные нелинейности.

3. Экспериментальное воздействие. Разместите генератор 'Контур' под экспериментальным контейнером на 30-60 минут. Убедитесь, что экспериментатор входит в комнату только в течение короткого времени и не производится механических воздействий.

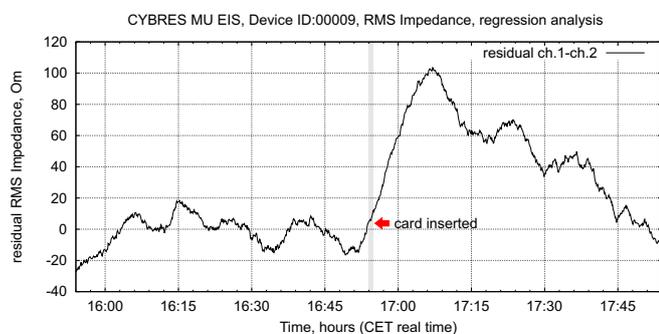
Результаты нескольких таких измерений показаны на Рис. 12 и 13. Хорошо видно, что экспериментальный канал изменяет тренд, в то время как контрольный канал по-прежнему следует предыдущему тренду. Следует избегать воздействие температуры на жидкости во время измерений (например, 'Контур' должен выстаиваться в помещении для выравнивания температуры). Имеет смысл разместить внешний датчик температуры на подставке с экспериментальной пробой жидкости, как показано на Рис. 14(a).

Эта схема измерений является наиболее чувствительной, поскольку образцы воды находятся непосредственно над измеряемым объектом. В частности, она хорошо

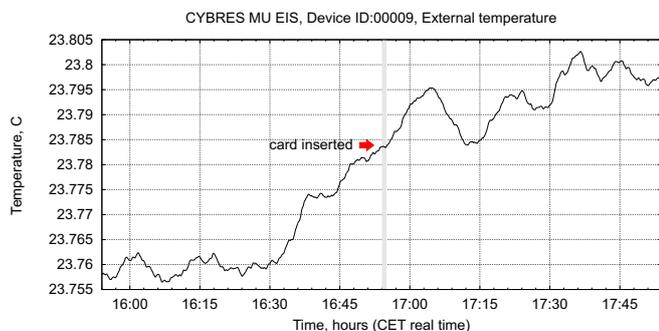
подходит для исследования так называемых 'активаторов' (различные наклейки, карточки, подставки и т.д.), см. Рис. 14(a). Эти объекты подкладываются под экспериментальный канал. Результаты измерения одного из объектов показаны на Рис. 14, эти исследования будут продолжены в отдельной работе.



(a)



(b)



(c)

Рис. 14. Пример ЭИС измерений с методологией I и пассивными объектами. (a) Схема измерений, внешний температурный сенсор находится на экспериментальном контейнере с жидкостью; (b) Регрессионный анализ RMS импеданса при внесении пассивного объекта под экспериментальный канал (режим непрерывных измерений при 5кГц); (c) Колебания внешней температуры.

VI. МЕТОДИКА ЭИС ИЗМЕРЕНИЙ II: ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОБА КАНАЛА С ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИЕЙ

В этой схеме используется воздействие, которое производится на два канала во время измерений. Этот

подход полезен для измерения локальных и нелокальных воздействий. Для нелокального случая необходимо следовать руководству [24]. В локальном случае ЭИС спектрометр помещается на платформу, оба контейнера с жидкостью находятся внутри термостата. Экспериментальная установка показана на рисунке 15. Верхний конус генератора 'Контур' должен быть сосредоточен на середине ЭИС спектрометра. В этом случае воздействие производится на обе жидкости, а также на электронные компоненты. Методика проведения эксперимента следующая:

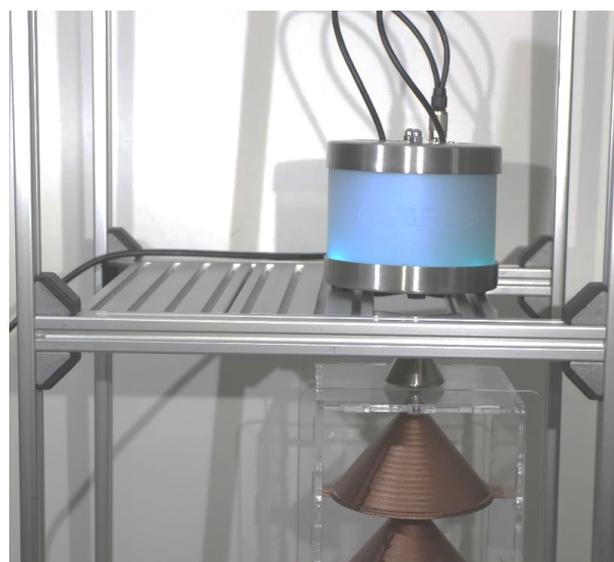


Рис. 15. Экспериментальный сеталп для методологии II: воздействие 'Контур' только на оба канала во время измерений.

1. Подготовка (см. методологию I).

2. Разогрев и дегазация. Вставить электроды и установить контейнеры в ЭИС спектрометр в течение 30 мин. Удалить пузырьки газа, вынимая электроды из контейнеров на короткое время. Подождать, пока температура не стабилизируется снова.

3. Измерение фона (см. методологию I).

4. Экспериментальное воздействие. Установить контейнер с жидкостью на 30-60 минут в верхний конус генератора 'Контур'.

Результаты нескольких таких измерений показаны на Рис. 16 и 17, в этом случае наблюдается изменение тренда обоих каналов. Поскольку образцы термостабилизированы, эта схема измерения является более устойчивой к окружающей среде. Из-за применения пористых теплоизолирующих материалов в ЭИС спектрометре реакция появляется через какое-то время и она слабее по сравнению со случаем открытых контейнеров. Как уже упоминалось, иногда требуется дополнительный источник излучения (как, например, в эксперименте на Рис. 17). Для этой схемы измерений разработана специальная конструкция электродов с входным конусом для подачи воздействия, см. Рис. 18(a).

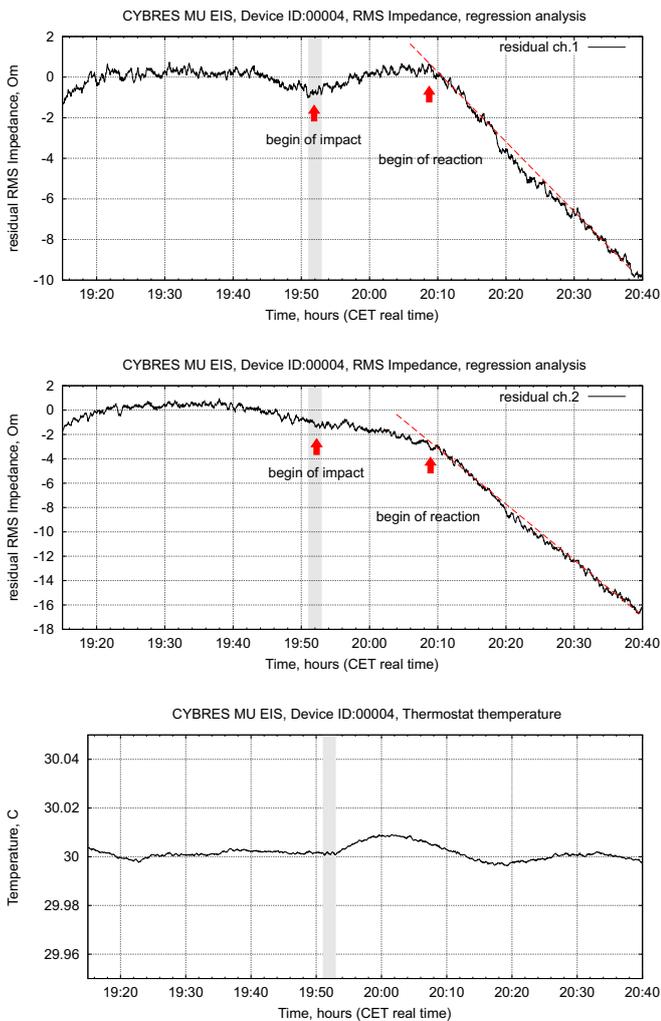


Рис. 16. Пример ЭИС измерений с методологией II и воздействием на оба канала (режим непрерывных измерений при 5кГц).

VII. МЕТОДИКА ЭИС ИЗМЕРЕНИЙ III: ВНЕШНЕЕ ОБЛУЧЕНИЕ ПРОБ

В этой схеме предполагается два независимых измерения до и после облучения. Воздействия на экспериментальные образцы могут быть проведены в любом месте любым источником излучения. Такой подход имеет свои преимущества, например, когда источник излучения является большим или неподвижным, как в случае измерения гео-биологического фона в определенном месте. Тем не менее, он имеет также большую случайную погрешность, в первую очередь, из-за различной скорости абсорбции CO_2 , вызванной различными механическими воздействиями на контрольные и опытные образцы. Таким образом, основной принцип этой схемы измерения заключается в тщательном (и сходном) обращении с контрольными и опытными образцами. Контейнеры должны быть всегда закрыты и размещены в одной и той же вертикальной позиции, как, например, показано на Рис. 18(b). Для того, чтобы избежать повторного удаления и внесения образцов в

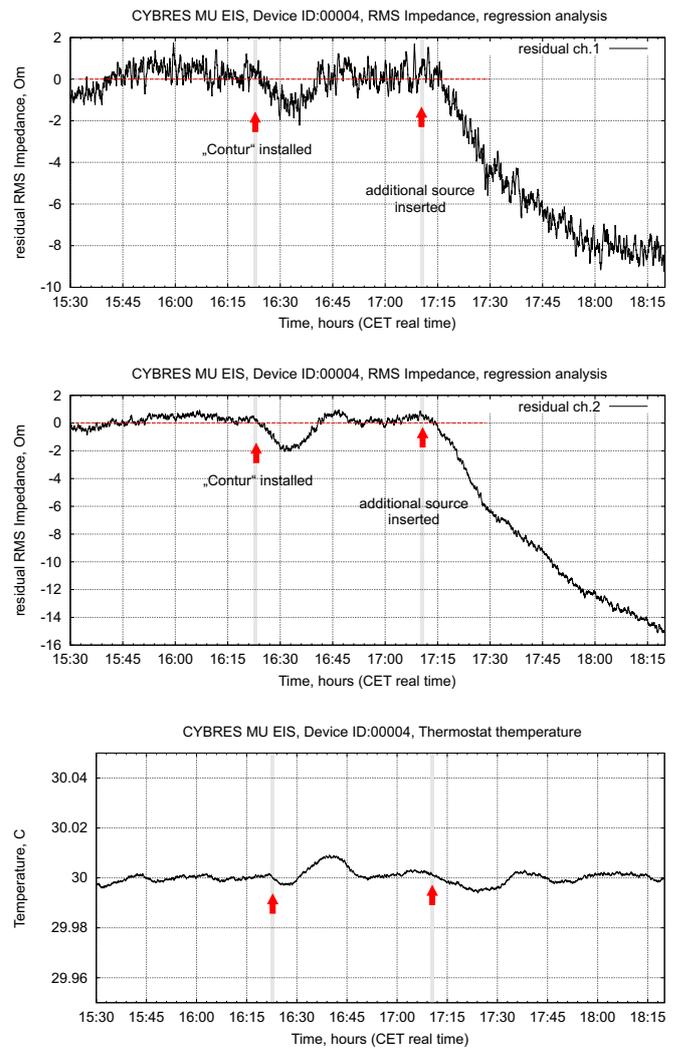


Рис. 17. Пример ЭИС измерений с методологией II и воздействием на оба канала (режим непрерывных измерений при 5кГц).

термостат, рекомендуется использовать две пары образцов той же самой жидкости: первую пару для измерения 'до воздействия', а вторую пару для измерения 'после воздействия' (подвергается воздействию только один 'опытный образец' из второй пары), см. Рис. 21.

Анализ также является более сложным по сравнению с предыдущими схемами. Он основан на следующем наблюдении. Как уже упоминалось в Разделе III, V (см. Рис. 8), ЭИС параметры деградируют со временем. Однако скорость изменений в обоих образцах остается сравнимой до тех пор, пока эти образцы (всегда парно) обрабатываются и измеряются сопоставимым способом. На Рис. 19(a) показаны два независимых измерения с двумя парами образцов: первая пара была измерена после измерений второй пары. Хорошо видно, что абсолютные значения отличаются, однако скорость дифференциальных изменений остается сопоставимой. Для сравнения на Рис. 19(b) показано дифференциальное измерение пары жидкостей, где один образец

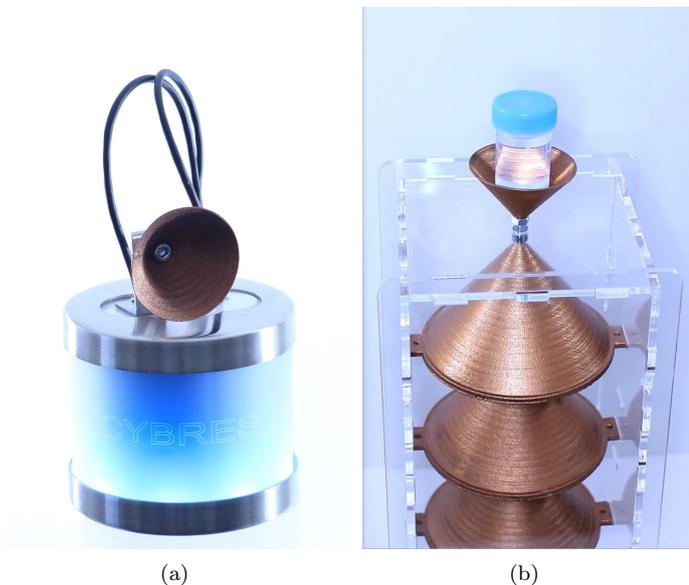
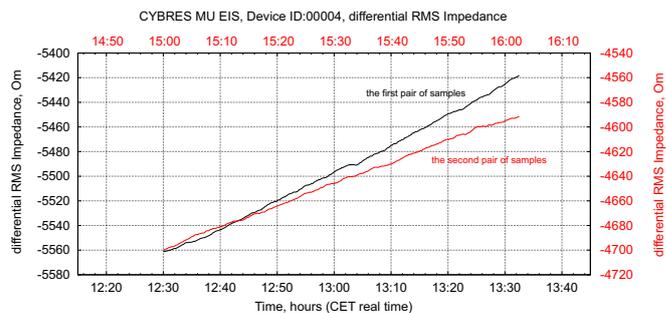


Рис. 18. (а) ЭИС спектрометр с приемным конусом, установленным в экспериментальном канале. (б) Сетап для методологии III: внешнее воздействие 'Контур' на экспериментальную пробу жидкости.

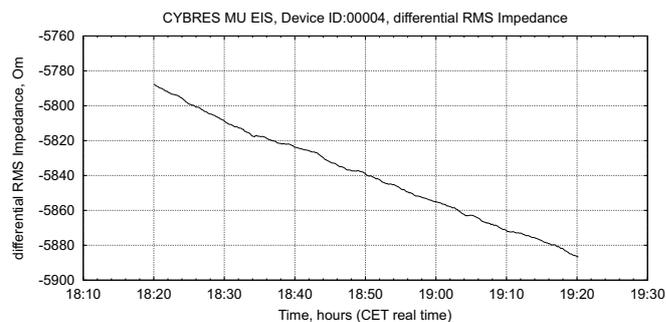
облучался 'Контуром' в течение 20 часов. Заметим, что экспериментальный канал изменил не только значения RMS импеданса, но и свой градиент по отношению к необлученным образцам из Рис. 19(а). Таким образом, индикатором воздействия является разница между контрольной парой и опытной парой образцов. Необходимо помнить, что существует переходный процесс в начале измерений, когда проводимость проходит через максимум и градиент изменений меняет свой знак [20]. Поэтому важно проводить все фазы измерений (нагрев, снятие пузырьков, измерение) **в одни и те же моменты времени для контрольных и экспериментальных проб**. Начальной точкой отсчета является момент внесения проб в термостат прибора.

Динамику изменений удобно представить в виде диаграммы, где скорость деградации импеданса представляется в виде разницы начальных и конечных значений измерений через определенный промежуток времени, см. Рис. 20. Эта методология представляет собой своего рода двойную дифференциальную схему измерения, см. Рис. 21, следующие шаги кратко обобщают эту методику:

1. **Подготовка** с контейнерами 1,2,3,4.
2. **Разогрев и дегазация** с контейнерами 1 и 2.
3. **Измерение фона** (см. методологию I) с контейнерами 1 и 2. Выполнить первое измерение в режиме спектрометра и повторить его через 60 минут.
4. **Экспериментальное воздействие**. Удалить контейнеры 1 и 2 из ЭИС спектрометра. Контейнеры 3 и 4 могут быть перемещены в экспериментальное место (оба контейнера должны пройти аналогичные механические воздействия). Оставить один (контрольный) контейнер на подставке, установить другой (экспери-



(a)



(b)

Рис. 19. (а) Два дифференциальных измерения четырех разных проб воды (2 пары), все пробы без воздействия; (б) Дифференциальное измерение двух проб воды (1 пара), одна из которых облучена генератором 'Контур' в течение 20 часов.

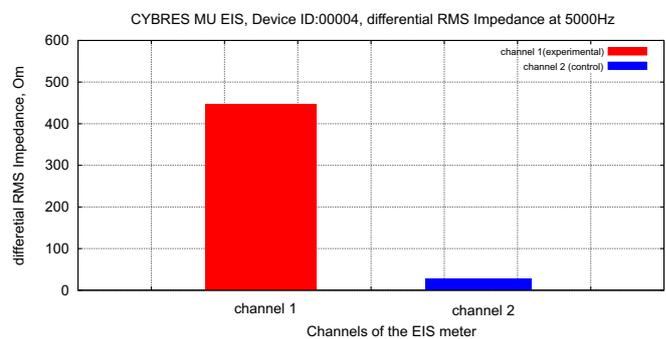


Рис. 20. Столбчатая диаграмма результатов: каждый столбец представляет собой скорость (в виде разницы начальных и конечных значений) деградации импеданса соответствующего канала. Разница более чем в два раза между каналами указывает на воздействие.

ментальный) контейнер в верхний конус генератора 'Контур' (или в другой источник излучения).

5. Повторить шаги 2 и 3 для контейнеров 3 и 4.
6. Выполнить второе измерение в режиме спектрометра и повторить его через 60 минут. С помощью опции 'столбчатая диаграмма' постройте график результата измерения (см. Рис. 20).

Этот подход демонстрирует приемлемые результаты только тогда, когда оказывается сходное механическое и электромагнитное воздействие на пробы жидкости (попарно) и влияние 'слабых излучений' явля-

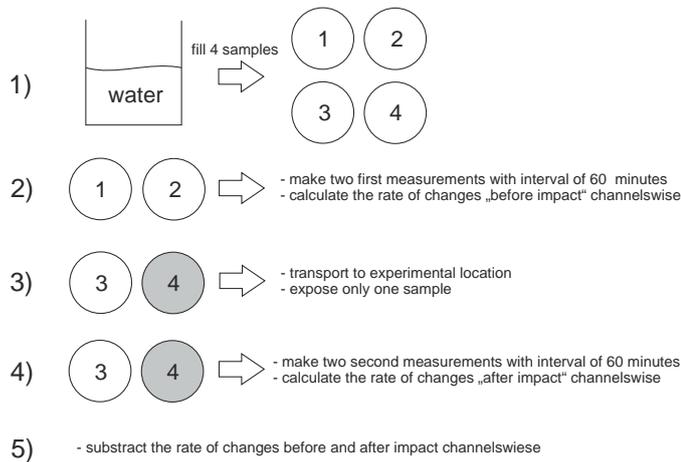


Рис. 21. Иллюстрация двойной дифференциальной методологии ЭИС измерений III с использованием двух пар жидкостей.

ется достаточно большим (например, путем увеличения времени экспозиции проб). Для измерения более слабых воздействий рекомендуется использование ЭИС методологии I.

VIII. СТАТИСТИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

A. Оценка положительных результатов измерений

'Слабые излучения' изменяют динамику химических и физических процессов в экспериментальных жидкостях, которые проявляются как изменение pH, электропроводности, электрохимической стабильности или других параметров. Важно отметить, что измеряемые параметры являются только вторичными индикаторами, т.е. происходит процесс косвенных измерений. Природа 'слабых излучений' в настоящее время еще не до конца понята, измерения показывают, что природные и искусственные источники 'слабых излучений' существуют как в окружающей среде, так и в лабораторных условиях. Поэтому при измерении важно использовать место для проведения экспериментов, которое показывает минимальные возмущения ЭИС динамики во время измерения фона.

Общим правилом для распознавания воздействия во всех ЭИС методологиях является тот факт, что изменения после воздействия (или экспериментальных проб) должны в два и более раз отличаться от вариаций во время фоновой записи (или контрольных проб без воздействия). В большинстве случаев в режиме непрерывного измерения (ЭИС методология I и II) воздействие проявляется как изменение тренда. Максимальная амплитуда отклонения от тренда и задержки между началом воздействия и началом реакции указывают на интенсивность воздействия. ЭИС методология III основана на дифференциальной разнице между экспериментальными и контрольными каналами. Здесь разница в наклоне тренда контрольных и экспериментальных каналов указывает на интенсивность воздействия. Пусть

в ЭИС методологии III C_1 и C_2 будут значения RMS импеданса контрольного канала в момент времени $t_1 = 0$ и $t_2 = 60$ минут, аналогично E_1 и E_2 значения RMS импеданса экспериментального канала в те же моменты времени. Определим

$$\Delta_C = C_1 - C_2, \quad (6)$$

$$\Delta_E = E_1 - E_2, \quad (7)$$

тогда величина $\frac{\Delta_E}{\Delta_C}$ определяет отношение трендов экспериментального и контрольного каналов друг к другу и следующее соотношение устанавливает границы отрицательного измерения (т.е. где эффект 'слабых излучений' не зарегистрирован):

$$2 > \frac{\Delta_E}{\Delta_C} > 0,5 \quad (8)$$

Результат, который нарушает отношение (8), считается положительным. Очевидно, что отношение (8) не включает в себя время, однако за счет небольших отличий при подготовке проб, ЭИС параметры необлученных жидкостей могут 'разойтись' друг от друга с течением времени и стать 'положительными' в смысле (8). Поэтому время $\Delta t = t_2 - t_1$, необходимое для вычисления величин (6), находится экспериментально. Неправильно выбранное Δt может в ряде случаев привести к отрицательному результату даже при наличии воздействия, см. Рис. 24.

Необходимо помнить, что воздействие 'слабых излучений' происходит не только на жидкостях, но и на электронных компонентах, особенно на полупроводниковые сенсоры. На Рис. 22 показана динамика внешней температуры в эксперименте из Рис. 17, записанная с помощью полупроводникового датчика. Хорошо видно,

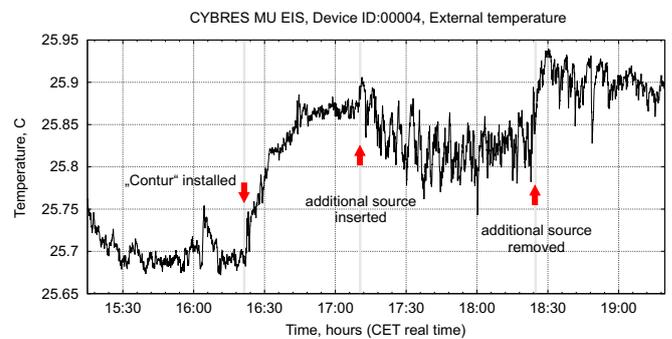


Рис. 22. Динамика внешней температуры из эксперимента на Рис. 17, записанная полупроводниковым сенсором.

что амплитуда шума во время экспозиции была больше, чем до и после экспозиции. Таким образом, наблюдение динамики дополнительных датчиков помогает в определении воздействия.

B. Методика повторных измерений

Для накопления достаточного количества статистических данных по методологии измерения III, был использован следующий подход. Несколько генераторов

Таблица I

ОБЗОРНАЯ ТАБЛИЦА ПРОВЕДЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ, A_p СУММАРНЫЙ ИНДЕКС ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ В ПЕРИОД ВРЕМЕНИ С 9.00 ДО 15.00, ПАРАМЕТРЫ C_1 , E_1 , Δ_C , Δ_E РАССЧИТЫВАЮТСЯ КАК ПОКАЗАНО В РАЗДЕЛЕ VIII-A.

N	Дата	EIS ID	Контр. C_1	Контр. Δ_C	Экспер. E_1	Экспер. Δ_E	$\frac{\Delta_E}{\Delta_C}$	A_p	Замечания
1c	04.02.17	4	-5560	-140	-4700	-110	0,78	13	контроль без воздействия
1	04.02.17	4	-5560	-140	-5790	+100	-0,74	13	
2	06.02.17	4	-4180	-60	-4620	+20	-0,33	15	
3	07.02.17	4	-9800	-140	-8990	-870	6,21	15	
2c	07.02.17	2	-10500	-650	-30300	-1200	1,84	15	контроль без воздействия
4	08.02.17	4	-3650	-1550	-8200	-450	0,29	10	
3c	08.02.17	4	-8200	-450	-8125	-525	1,16	10	контроль без воздействия
5	08.02.17	2	4600	-1200	9500	-1500	1,25	10	отрицательный результат*
4c	08.02.17	2	9500	-1500	14900	-2100	1,4	10	контроль без воздействия
6	09.02.17	2	27500	-2750	27200	300	-0,11	9	
7	09.02.17	3	15100	1100	23600	-1300	-1,18	9	
8	09.02.17	4	2900	-800	-36000	1600	-2,0	9	
9	10.02.17	4	3650	100	-38300	1700	17	14	
10	10.02.17	2	-5750	400	-87150	-450	-1,16	14	
11	13.02.17	4	-6500	-2500	-19500	-2900	1,16	5	отрицательный результат
12	13.02.17	2	3000	6000	26750	-2500	-0,41	5	
13	14.02.17	4	6300	1500	-8000	-6500	-4,33	0	
14	14.02.17	2	-7200	-1600	32000	14000	-8,75	0	
15	15.02.17	4	10000	5500	13500	2150	0,39	2	
16	15.02.17	2	-3000	7000	17500	3500	0,5	2	
17	19.02.17	2	-200	2500	10400	400	0,16	19	
18	19.02.17	4	31500	5500	19000	2250	0,40	19	
19	20.02.17	2	17000	-7500	2780	-120	0,016	15	
20	20.02.17	4	135600	-1000	9400	-2100	2,1	15	
21	21.02.17	2	-12500	3750	-4500	-2700	-0,72	4	
22	21.02.17	4	1350	350	14950	850	2,42	4	
23	22.02.17	2	-2400	600	7750	2000	3,33	8	
24	22.02.17	4	23450	950	9500	2300	2,42	8	
25	23.02.17	2	-4500	3500	5480	-100	0,03	22	
26	23.02.17	4	52250	-3500	19100	-800	0,22	22	
27	24.02.17	2	13000	-5500	3300	800	0,14	44	
28	24.02.17	4	21900	-2200	1600	700	0,31	44	
29	25.02.17	2	-300	600	11550	-400	-0,66	4	
30	25.02.17	4	24250	3750	16450	350	0,09	4	
5c	26.02.17	9	-2400	-1800	-25500	-1750	0,97	2	контроль без воздействия
6c	26.02.17	3	11200	-1400	14250	-2150	1,53	2	контроль без воздействия
7c	26.02.17	4	14500	-350	27400	-400	1,14	2	контроль без воздействия
8c	27.02.17	9	-4920	120	-5160	120	1,0	8	контроль без воздействия
9c	27.02.17	3	-3350	900	1600	500	0,55	8	контроль без воздействия
10c	04.03.17	2	6650	-550	7100	-900	1,63	30	контроль без воздействия
11c	04.03.17	4	5550	-200	2900	-120	0,6	30	контроль без воздействия
12c	05.03.17	4	15200	600	3200	700	1,16	24	контроль без воздействия

* – генератор 'Контур' установлен на новое место

'Контур' и ЭИС спектрометров были установлены в лаборатории. Все 'Контур' расположены близко к наружной стене здания (с солнечной стороны) на расстоянии 1 метра друг от друга. Выбранное место было свободно от электропроводки, все источники WiFi в лаборатории были выключены, интенсивности переменного электрического/магнитного полей не изменялись более чем 5В/м и 10нТ, аномалий интенсивности этих полей обнаружено не было. Мощность ЭМ излучений в диапазоне частот 50МГц-2ГГц непрерывно измерялась вблизи 'Контуров', их средний уровень также не показывал аномалий во время измерений. ЭИС спектрометры были установлены на столе рядом друг с другом, в измерениях использовались различные элект-

роды. Дополнительно записывался суммарный индекс геомагнитной активности A_p в период времени с 9.00 до 15.00, данные предоставлены центром имени Гельмгольца в Потсдаме³. Все измерения выполнялись двумя операторами, начинались в одно и то же время и следовали одной и той же процедуре:

1) 8 или 12 контейнеров заполнялись дистиллированной водой. Неиспользуемые контейнеры с водой всегда оставались на столе вблизи друг к другу.

2) Случайным образом отобранные контейнеры были установлены на верхних конусах 'Контуров', как показано на Рис. 18(b).

³<http://www.gfz-potsdam.de/en/kp-index/>

3) Контрольные пары случайно выбранных контейнеров измерялись в ЭИС спектрометрах на частоте 5 кГц. Разогрев контейнеров и измерения в непрерывном режиме занимали около 2-3 часов. По истечении этого времени контейнеры вынимались из термостата.

4) После контрольных замеров экспериментальные контейнеры вынимались из 'Контуров' и шаг 3 повторялся с использованием экспериментальной пары образцов. Экспериментальный контейнер был всегда установлен в канале 2.

В Таблице I показаны полученные результаты, в начале и конце измерений были проведены несколько контрольных замеров по той же методике, но пробы воды при этом не облучались генератором. На Рис. 23 показан типичный пример измерения – эксперимент 22.02.17.

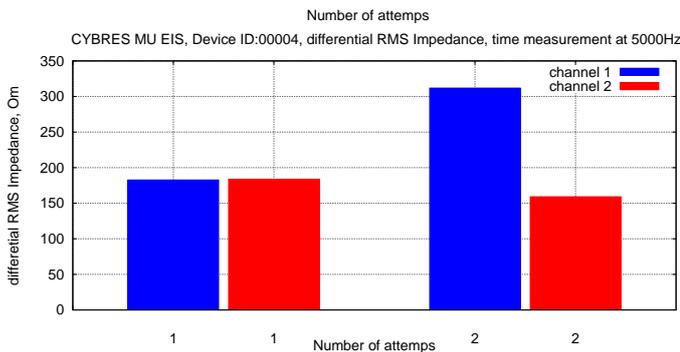
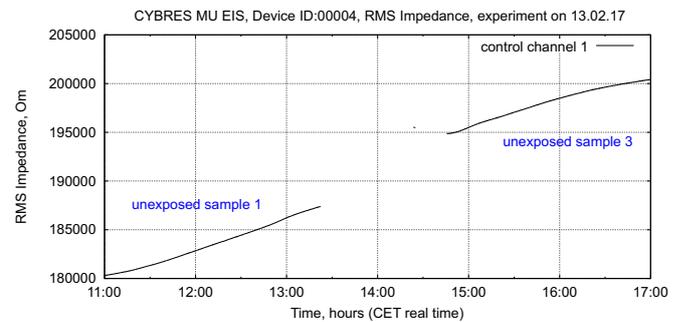
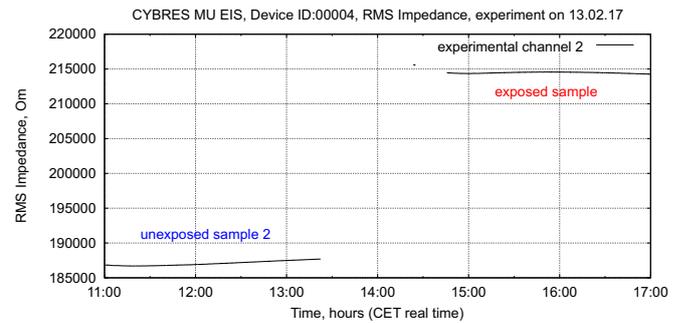


Рис. 23. Столбчатая диаграмма дифференциальных результатов (рассчитано на основе 20 посленных отчетов, порядка шести минут измерений) в эксперименте 22.02.17. Первая попытка представляет собой контрольный замер без облучения (сходная разница между каналами), вторая попытка – с облучением одной пробы (существенная разница между каналами). Эту диаграмму можно рассматривать также как и экспресс-анализ этого эксперимента, см. раздел IX.

Во-первых, привлекла внимание высокая повторяемость результатов (в качественной оценке по принципу 'да'-'нет'), из 30 измерений были получены только два отрицательных результата (6,7%), т.е. это соответствует воспроизводимости измерений в 93,3%. Первый отрицательный результат был получен, когда один из генераторов 'Контур' был установлен на новом месте. По всей видимости, пассивные генераторы требуют некоторого времени прибывания на одном месте перед началом работы (что вероятно связано с 'фантомным эффектом'). Мы заинтересовались вторым отрицательным результатом, полученным 13.02.17, графики показаны на Рис. 24. Видно, что контрольный канал (N1) имеет одинаковый наклон тренда как в первой, так и во второй паре жидкостей. Экспериментальный канал (N2) демонстрирует начало разных трендов 'вверх' и 'вниз', однако измерение 'схватило' лишь начальную часть кривых, где изменения очень малы. Здесь мы сталкиваемся с ситуацией, уже упомянутой в контексте отношения (8) – выбор временного интервала Δt между повторными измерениями может оказаться существенным для детекции результата.



(a)



(b)

Рис. 24. Динамика эксперимента 13.02.17 с отрицательным результатом из-за неправильно выбранного Δt ; в начале измерена контрольная пара, затем экспериментальная пара жидкостей, облучен один образец из экспериментальной пары; (a) контрольный канал (все пробы не облучены), (b) экспериментальной канал (одна проба облучена во втором измерении).

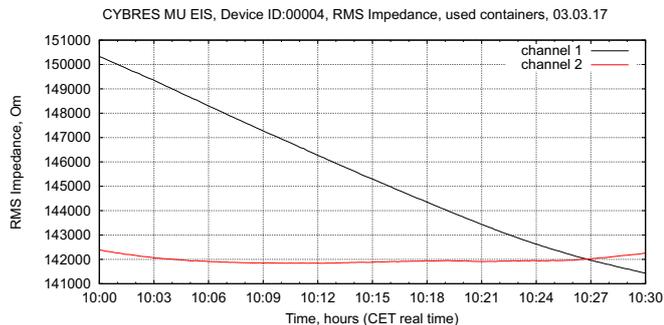
Во-вторых, измерения контрольных пар (без воздействия) в разные дни отличаются друг от друга. Как уже упоминалось, причина заключается как в вариациях подготовки жидкостей (условия, при которых бралась вода из основного резервуара, механические воздействия в процессе разлива, место хранения жидкости), так и параметры конкретного эксперимента (используемые электроды, удаление пузырьков). Иными словами, существует естественная вариация отдельных ЭИС измерений, этот факт уже неоднократно подчеркивался в работах по точным электрохимическим измерениям [7].

При сравнении результатов с индексом геомагнитной активности A_p можно предположить, что при большом A_p увеличивается вероятность обнаружить значительные изменения проводимости, однако не удалось установить явную корреляцию между вариациями проводимости и величиной A_p .

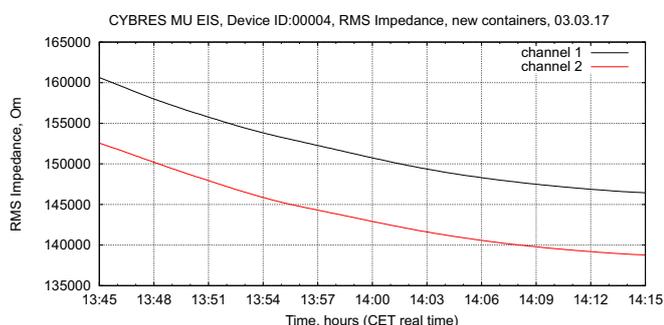
IX. ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗ

Пре подготовке и проведении контрольных измерений после основных экспериментов (см. нижнюю часть таблицы I) выяснился интересный факт. Пластиковые контейнеры (изготовлены из органического полимера – полипропилена $(C_3H_6)_n$), которые находились под

воздействием 'слабых излучений' в экспериментальных каналах предыдущих опытов, могут изменять свойства жидкостей даже и после окончания этих экспериментов.



(a)



(b)

Рис. 25. Первые 30 минут измерения RMS импеданса на частоте 5 кГц (в начальной стадии термостабилизации и до дегазации), на одном приборе и с тем же набором электродов; (a) Жидкости в обоих каналах налиты в ранее использованные контейнеры; (b) Жидкости в обоих каналах налиты в новые контейнеры.

На Рис. 25 показаны два графика одного и того же контрольного эксперимента. Подготовка жидкостей и контейнеров являлась одинаковой для всех каналов, однако в первом замеры применялись пластиковые контейнеры, которые уже использовались ранее. На Рис. 25(a) показаны первые 30 минут записи RMS импеданса при 5 кГц. Как видно, наклоны обеих кривых достаточно разные, причем ни проведение дегазации, ни нагрев контейнеров не изменили этой ситуации. После этого было проведено ЭИС измерение жидкостей, налитых в новые контейнеры (на том же приборе и с тем же набором электродов), оба RMS импеданса следуют параллельно друг другу, см. Рис. 25(b), что характерно для всех контрольных экспериментов. Представление данных из Рис. 25 в виде столбчатых диаграмм показано на Рис. 26.

Этот опыт повторялся несколько раз со сходными результатами – некоторые использованные контейнеры изменяют свойства жидкостей в первые же минуты проведения замера. Из всех возможных объяснений этого феномена химическое загрязнение отклоняется, поскольку все контейнеры использовались только с

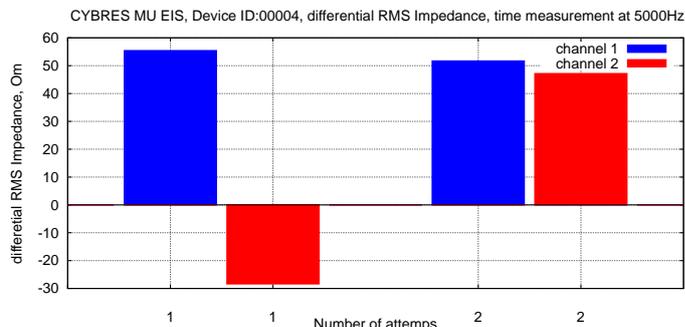


Рис. 26. Столбчатая диаграмма дифференциальных результатов (в виде разницы между последними пятью значениями, порядка одной минуты измерений), показанных на Рис. 25. Отчетливо видна разница между каналами в первой попытке (Рис. 25(a)), а то время как вторая попытка показывает сравнимую динамику каналов (Рис. 25(b)).

дистиллированной водой и в начале каждого опыта происходит ополаскивание тары дистиллированной водой; температурный фактор также несущественен из-за достижения одинаковой температуры в термостате. Учитывая, что 'слабые излучения' изменяют именно скорость электрохимических изменений, наиболее вероятным является некий информационный феномен, связанный с эффектом последствия в использованных контейнерах.

Эта методика показывает, что сравнения динамика ЭИС параметров обоих каналов указывает на сравнимые свойства жидкостей даже в первые минуты измерения. Таким образом, первые 3-5 минут дифференциального ЭИС измерения достаточны для проведения экспресс-анализа для определения того, подвергалась ли жидкость воздействию 'слабых излучений', связанных, например, с информационными явлениями, воздействием оператора, инфо-картами или 'пассивными модификаторами'. Этот метод, по всей видимости, хорошо подходит для качественного анализа в полевых или демонстрационных условиях, когда фактор времени является наиболее существенным.

Х. ВЫВОДЫ

Воздействие 'слабых излучений' проявляется на уровне $10^{-9} - 10^{-11}$ См/см с относительно медленной динамикой. ЭИС измерения позволяют обнаружить и охарактеризовать только сам факт наличия 'слабых излучений'. Этот метод не подходит для детекции биологических эффектов (например, стимуляции или ингибирования) или специфических 'информационных явлений' (например, ПИД эффект). Необходимо помнить, что *измерение эффектов 'слабых излучений' имеет вероятностную природу*, поэтому всегда должно выполняться достаточное количество повторных замеров. Природа этих излучений до конца еще не изучена, на основании опыта проведенных экспериментов, необходимо обращать внимание на следующие моменты:

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Механические воздействия:** контейнеры не должны подвергаться механическим воздействиям, вибрациям или тряске до и во время измерений.

2. **Электромагнитные воздействия:** контрольные и экспериментальные образцы должны содержаться в одинаковых электромагнитных условиях, это относится к световым источникам, высокочастотным излучениям от мобильных телефонов/WiFi приборов или другим источникам излучения.

3. **Тепловые воздействия:** оба контейнера должны в одинаковой степени нагреваться и охлаждаться. Необходимо избегать нагрева только одного контейнера, например, при держании его в руке или при использовании объектов (например, генератор 'Контур') с другой температурой, чем открытые пробы.

4. **Усиление уровня 'слабых излучений':** многим пассивным источникам излучения (см. Рис. 14(a)) необходим активный излучатель, а также длительное время экспозиции. Как правило, ЭИС методология I – как наиболее точный метод – является наиболее подходящим методом для таких измерений.

5. **Подготовка и хранение проб воды.** Исходный резервуар с водой для всех образцов, а также контрольные образцы, должны храниться вдали от источников 'слабых излучений'. Для хранения контрольных образцов подходит место близкое к измерительному оборудованию, в то время как опытные образцы должны подвергаться воздействию вдали от оборудования.

6. **Короткое время измерений.** Все измерения для одного эксперимента должны выполняться с той же самой обработкой/подготовкой проб воды, короткий промежуток времени для одного эксперимента позволяет избежать нежелательных эффектов, например, связанных с воздействием различных слабых излучений из окружающей среды.

Относительно методик измерения следует заметить, что ЭИС методология I и II с воздействием в процессе измерений оказалась наиболее точным методом, а ЭИС методология III требует двойного дифференциального метода. Как вариант этого метода, экспресс-анализ позволяет получать быстрый качественный результат. Контрольные замеры из Таблицы I показывают, что жидкости подвержены естественным воздействиям. Например, острые углы предметов, сочетание объектов вблизи места хранения, наличие металлических частей и т.д могут образовывать 'естественные эффекты форм' и воздействовать на исходные жидкости. Мы еще раз обращаем внимание на тот факт, что место хранения и 'эффект последствия' оказывают влияние на жидкость, это особенно относится к бутылочным жидкостям.

Интересные явления продемонстрировал метод измерений пассивных объектов-модификаторов, показанный на Рис. 14(a). По всей видимости, объекты-модификаторы проявляют воздействие, сходное с эффектом форм. Исследование этих объектов будет предпринято в следующей работе.

- [1] Cybertronica Research. *Application Note 20. Increasing accuracy of repeated EIS measurements for detecting weak emissions.* 2017.
- [2] В.А. Соколова. *Первое экспериментальное подтверждение существования торсионных полей и перспективы их использования в народном хозяйстве.* Москва, 2002.
- [3] А.В. Бобров. *Модельное Исследование Полевой Концепции Механизма Сознания.* Орел, ОрелГТУ, 2006.
- [4] С.В.Зенин. *Структурированное состояние воды как основа управления поведением и безопасностью живых систем.* М.: РГБ, 2005.
- [5] С. Кернбах. Исследование Проникающей Способности Светодиодного и Лазерного Излучения, ч.1, ч.2. *Нано- и микросистемная техника*, 6,7, 2013.
- [6] Serge Kernbach. Replication attempt: Measuring water conductivity with polarized electrodes. *Journal of Scientific Exploration*, 27(1):69–105, 2013.
- [7] С. Кернбах and О. Кернбах. О высокоточном измерении pH и дрН. *Журнал Формирующихся Направлений Науки*, 5(2):83–103, 2014.
- [8] С. Кернбах and О. Кернбах. О влиянии геометрии структурных элементов на параметры высокочастотной неконтактной кондуктометрии. *ЖФНН*, 12-13(4):47–68, 2016.
- [9] С.Кернбах, И.Куксин, and О.Кернбах. Анализ сверхслабых взаимодействий методом электрохимической импедансной спектроскопии. *Журнал Формирующихся Направлений Науки*, 11(4):6–22, 2016.
- [10] Сергей Кернбах, Виталий Замша, and Юрий Кравченко. Дальние и Сверхдальние Приборные Взаимодействия. *Журнал Формирующихся Направлений Науки*, 1(1):24–42, 2013.
- [11] Сергей Кернбах. Минимальный эксперимент. *Журнал Формирующихся Направлений Науки*, 4(2):50–61, 2014.
- [12] Б.Б. Дамаскин, О.А. Петрий, and Г.А. Цирлина. *Электрохимия.* М.: 'Химия', 'КолосС', 2006.
- [13] Jana H. Börner, Volker Herdegen, Jens-Uwe Repke, and Klaus Spitzer. The impact of CO₂ on the electrical properties of water bearing porous media - laboratory experiments with respect to carbon capture and storage. *Geophysical Prospecting*, 61:446–460, 2013.
- [14] Truman S. Light, Elizabeth A. Kingman, and Anthony C. Bevilacqua. The conductivity of low concentrations of CO₂ dissolved in ultrapure water from 0-100c. *209th American Chemical Society National Meeting, Anaheim, CA*, April 2-6, 1995.
- [15] Hongbo Wang, Janek Zeuschner, Mikhail Eremets, Ivan Troyan, and Jonathan Willams. Stable solid and aqueous H₂CO₃ from CO₂ and H₂O at high pressure and high temperature. *Scientific Reports*, 6:19902, DOI: 10.1038/srep19902, 2016.
- [16] P. L. Geissler, C. Dellago, D. Chandler, J. Hutter, and M. Parrinello. Autoionization in Liquid Water. *Science*, 291:2121–2124, March 2001.
- [17] Agilent Technologies. *Agilent Impedance Measurement Handbook.* Agilent, 2013.
- [18] L.Matsiev. Improving performance and versatility of systems based on single-frequency dft detectors such as ad5933. *Electronics*, 4(1):1–34, 2015.
- [19] F.J. Harris. On the use of windows for harmonic analysis with the discrete fourier transform. *IEEE Proc.*, 66:51–83, 1978.
- [20] V.R. Gajevskiy. Electric conductivity of carbon dioxide aqueous solutions. *Ukr. J. Phys.*, 60(3):258–262, 2015.
- [21] В.М.Шаталов, А.Э.Филиппов, and И.В.Нога. Пузырьковая природа флуктуаций некоторых свойств водных растворов. *БИОФИЗИКА*, 57(4):565–572, 2012.
- [22] J. W. Shipley. The alternating current electrolysis of water. *Canadian Journal of Research*, 1(4), 10.1139/cjr29-020:305–358, 2011.
- [23] Parantap Nandi. Effect of alternating current on electrolytic solutions. *IOSR Journal of Engineering*, 3(8):51–59, 2013.
- [24] Cybertronica Research. *Application Note 18 'Интернет система для автоматического обнаружения удаленных взаимодействий на основе импеданса спектрометра CYBRES MU EIS.* 2017.