

**ПРИБОРЫ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ,
ИЗГОТОВЛЕННЫЕ В ЛАБОРАТОРИЯХ**

УДК 54.084

**МНОГОКАНАЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИОСТАТ-ГАЛЬВАНОСТАТ
С БОЛЬШИМ ТОКОМ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ
МЕТАЛЛ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ**

© 2026 г. Е. А. Астафьев^a, А. Е. Укше^{a,b}

Поступила в редакцию 25.03.2026

После доработки 28.05.2026

Принята к публикации 05.06.2026

Литий-ионные, а также натрий-ионные аккумуляторы являются важнейшими компонентами современной электрохимической энергетики. Для их создания необходимо специализированное оборудование – как на этапе разработки, так и на этапе серийного выпуска [1]. В первую очередь, это нужно для выполнения большого количества циклов заряд-разряд в лабораторных условиях, а также для осуществления формировочных циклов на производстве.

Для решения этой задачи применяются специализированные потенциостаты-гальваностаты, называемые также циклерами. Обычно они имеют многоканальное исполнение для одновременной работы с несколькими аккумуляторами, так как в лабораторных исследованиях проведение циклического состаривания может длиться месяцами [2], а на производстве очень большое количество аккумуляторов одновременно может проходить процесс формирования.

Мы спроектировали мощный многоканальный потенциостат-гальваностат (циклер) CS-120-6. Он имеет 6 каналов, каждый рассчитан на выполнение заряда и разряда токами до 25 А. Для работы с малыми токами, от 50 мА, каждый канал имеет по два диапазона тока (25 и 6 А). Разрешение по задаваемому напряжению и току достигает 0.004%, разрешение по регистрируемому напряжению – до 10 мкВ. Рабочий интервал напряжений при максимальном токе составляет от 1 до 4.5 В, что позволяет работать с любыми типами литий-ионных аккумуляторов, в том числе и с перспективными высоковольтными.

^a Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук, Россия, 142432, Черноголовка Московской обл., просп. Академика Семёнова, 1

^b ООО “Центр водородной энергетики”, Россия, 142432, Черноголовка Московской обл., просп. Академика Семёнова, 1а

Многоканальное исполнение позволяет эксплуатировать прибор в двух вариантах: 1) шесть независимых каналов до 25 А каждый, 2) режим параллельного включения всех каналов с током до 150 А. Параллельный режим легко включается в управляющем программном обеспечении, при этом токовые выходы переключаются со всех каналов на специализированный силовой терминал на передней панели при помощи встроенной в прибор параллельной шины и мощных коммутирующих реле в каждом канале. В параллельном включении прибор имеет три диапазона тока, 150, 25, 6А, что позволяет проводить испытания в широком интервале токов при различных скоростях заряда-разряда.

Важнейшей особенностью циклера CS-120-6 является возможность измерения электрохимического импеданса (индивидуально в каждом канале). Эта техника крайне необходима при выполнении лабораторных исследований, например, для количественной оценки скоростей процессов интеркаляции ионов металлов в кристаллические структуры электродных материалов. На производстве же измерение импеданса позволяет быстро получить паспортную величину ESR (equivalent serial resistance, сопротивление на частоте 1 кГц), например, при осуществлении входного контроля аккумуляторов при сборке их в батареи. Циклер CS-120-6 позволяет регистрировать спектры импеданса на частотах от 10 кГц до 100 мкГц при амплитудах возбуждающего синусоидального сигнала от 5 до 60 мВ. Это выгодно отличает его от имеющихся сегодня решений в области испытаний металл-ионных аккумуляторов. На рис. 1 приведены примеры спектров импеданса литий-ионного аккумулятора в заряженном и разряженном состояниях. Помимо этого, потенциостат CS-120-6 позволяет выполнять режимы с линейной разверткой потенциала, что тоже характерно обычно только для приборов исследовательского класса и позволяет детально исследовать электродные процессы в макетах аккумуляторов в лабораторных условиях.

Рис. 1. Годографы импеданса для литий-ионного (Li-Fe) аккумулятора емкостью 105 А·ч, диапазон частот 0.3–300 Гц, амплитуда 10 мВ: кривая 1 – заряженный, кривая 2 – разряженный.

Исследовательские режимы удалось реализовать благодаря применению в каждом канале прибора современного управляющего микроконтроллера с ядром Cortex N7 с рабочей частотой 280 МГц, в который также встроен высокоточный двуканальный АЦП, настроенный на максимальное быстродействие 160 кГц. Пользователь может использовать его в импульсных режимах, которые, например, позволяют измерять величину омического сопротивления аккумуляторов с применением техники Δ -импульса или ступени напряжения или тока.

Для удобства работы каждый канал циклера CS-120-6 имеет встроенный графический индикатор с разрешением 128×128 пикселей. На нем отображается информация о текущем состоянии – работа, измерение напряжения холостого хода, ожидание работы. Также выводятся значения текущего напряжения и тока, величина прошедшего заряда, номер цикла заряд-разряд, номер шага в нем, тип работы, а также другая информация.

Для расширения функциональных возможностей в каждый канал встроен цифровой интерфейс, позволяющий подключать специализированные внешние датчики температуры. Они позволяют измерять температуру тестируемых аккумуляторов для запуска или остановки работы при заданном значении температуры для программирования сложных экспериментов с пошаговым заданием температуры, например, в сторонней климатической камере. Измерения осуществляются при помощи гальванически изолированной термопары с точностью до 1 °С и разрешением 0.065 °С.

Для собственной защиты прибор имеет ограничители по току и защиту от электростатики. Встроенные датчики температуры прибора регулируют обороты вентиляторов охлаждения, а также могут аварийно остановить работу при перегреве.

Конструктивно циклер CS-120-6 выполнен в стойном корпусе высотой 4U. Подключение к управляющему компьютеру осуществляется при помощи гальванически изолированного USB-интерфейса. Управление прибором выполняется при помощи специализированного программного обеспечения, позволяющего не только создавать самые разные программы работы, но и осуществлять первичную обработку данных. Каждый канал прибора имеет индивидуальный управляющий контроллер и встроенную энергонезависимую память на 5.3 миллиона точек данных, что гарантирует сохранность всех данных даже в случае отключения электричества или при потере связи с управляющим компьютером.

Таким образом, прибор CS-120-6 представляет собой мощный современный аппаратно-программный многоканальный исследовательский комплекс, не имеющий на сегодня аналогов, позволяющий с высокой точностью решать самые разнообразные современные задачи в области разработки и тестирования металл-ионных аккумуляторов как в лабораторных условиях, так и на производстве.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания ФИЦ ПХФ и МХ РАН (номер государственной регистрации 124013000692-4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Астафьев Е.А.* ПТЭ. 2018. № 2. С. 156.
<https://doi.org/10.7868/S0032816218020118>
2. *Astafev E.A.* Meas. 2020. V. 154. P. 107492.
<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.107492>

*Адрес для справок: Россия, 142432, Черноголовка Московской обл., просп. Академика
Семёнова, 1, ФИЦ ПХФ и МХ РАН, E-mail: tdsipch@list.ru*

ПОДПИСЬ К РИСУНКУ

Рис. 1. Годографы импеданса для литий-ионного (Li–Fe) аккумулятора емкостью 105 А·ч, диапазон частот 0.3–300 Гц, амплитуда 10 мВ: кривая 1 – заряженный, кривая 2 – разряженный.

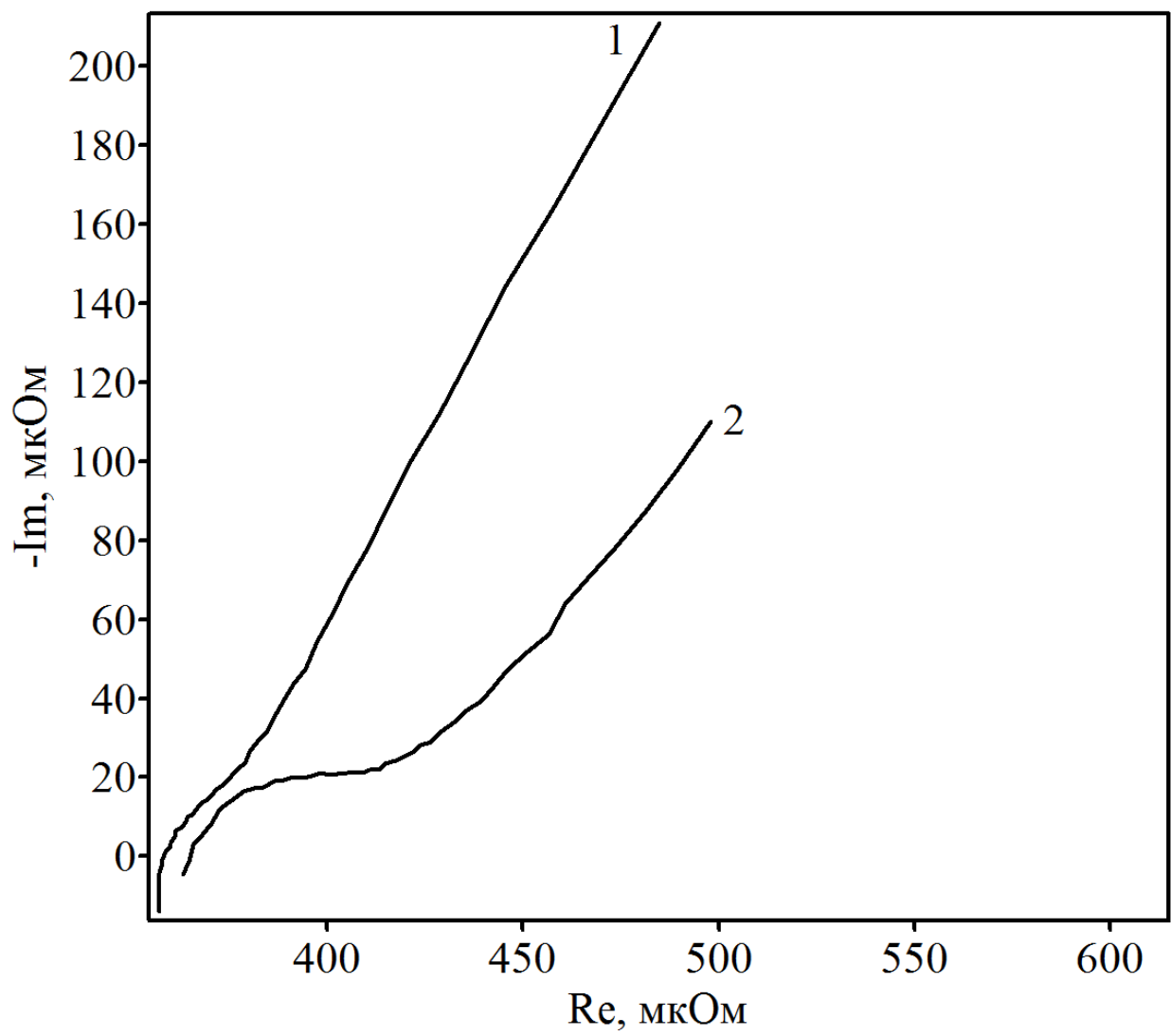


Рис.1