

**ФГБОУ ВО «Саратовский национальный  
исследовательский госуниверситет  
имени Н. Г. Чернышевского»**

**Саратов, Россия**

**ПРОТОЧНЫЕ БАТАРЕИ НА ОСНОВЕ ОРГАНИЧЕСКИХ  
РЕДОКС–СИСТЕМ ДЛЯ КРУПНОМАСШТАБНОГО НАКОПЛЕНИЯ  
И ХРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

**Заведующий кафедрой физической химии**

**д.х.н., профессор Казаринов И. А.**

**E-mail: [kazarinovia@mail.ru](mailto:kazarinovia@mail.ru),**

**Тел. сл.: 8 (8452) 51-64-13**

**Тел. моб.: 8 927 222 70 90**

# ОСНОВНЫЕ ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

- Альтернативная энергетика - компенсации колебаний выработки энергии солнцем и ветром.
- Регулирование пиковых нагрузок в промышленных электрических сетях.
- Обеспечение электроэнергией крупных домохозяйств, удаленных сельскохозяйственных предприятий.
- Системы энергоснабжения морских судов с электрическими и гибридными силовыми установками.
- Производство электромобилей.

# СОВРЕМЕННЫЕ ТИПЫ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

- **ФИЗИЧЕСКИЕ:**

- кинетические (маховики);
- накопители электрической энергии на основе сжатого воздуха;
- гидроаккумуляторы.

- **ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ:**

- свинцово-кислотные аккумуляторы;
- никель-кадмиевые и никель-металлогидридные аккумуляторы;
- литий-ионные аккумуляторы;
- натрий-серные аккумуляторы;
- водородный цикл;
- суперконденсаторы;
- **проточные редокс-батареи.**

# Сравнительный анализ электрохимических технологий аккумулирования электроэнергии

Электрохимическая система	Срок службы, лет	Кол-во заряд-разрядных циклов	Удельная энергия, Вт·ч/кг	Удельная мощность, кВт/кг	Стоимость, USD/кВт·ч
Pb   PbO <sub>2</sub>	3-5	500-800	25-35	0.003-0.35	100-500
Ni-Cd	10	2000	40-60	0.01-0.7	400-1000
Li-ion		6000	110-180	0.3-3	700-5000
Суперконденсаторы	20	1 млн	2-5	5-10	16000-25000
Проточные батареи (V   V)	20	20000	20-40	высокая	400-700
Проточные батареи (орган.)	>10	>10000	35-50	высокая	100-200

# Структура и принцип работы проточных редокс-батарей

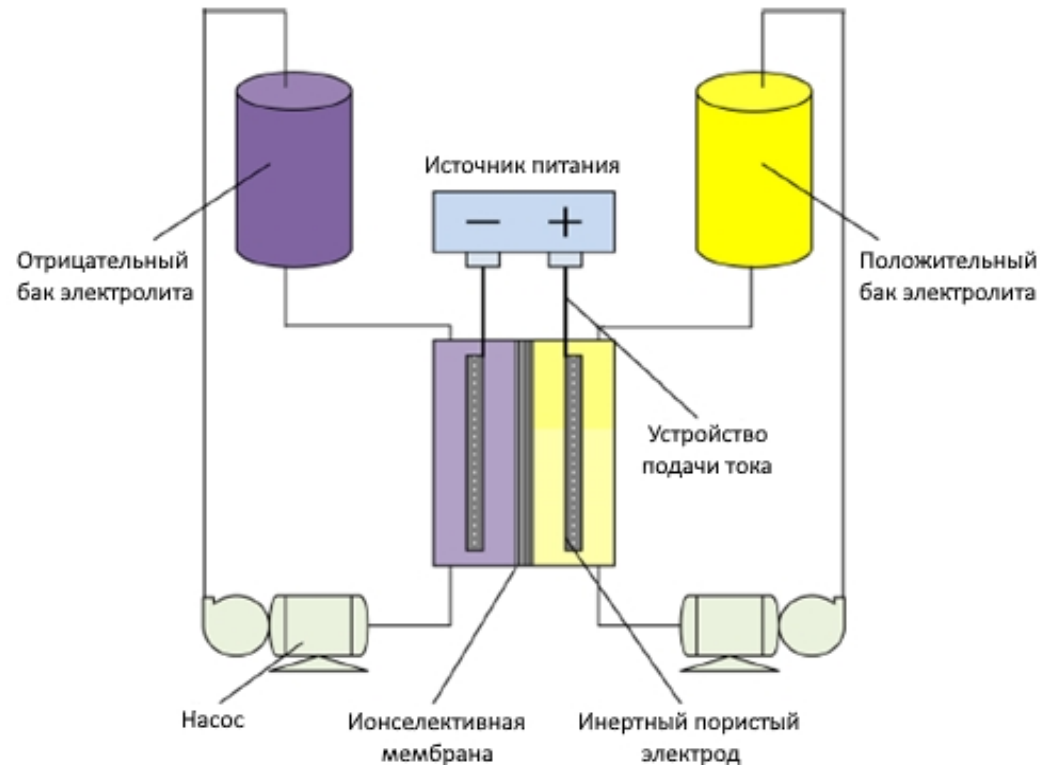


Рис. 1. Общая схема проточной редокс-батареи

## Достоинства проточных редокс-батарей

- надежны, долговечны и ориентированы на промышленное использование;
- могут достичь практически неограниченной энергии и мощности при использовании все больших и больших емкостей для хранения и количества ячеек;
- простота перезарядки;
- **очень быстро реагируют на изменение нагрузки и не боятся перегрузок;**
- идеально подходят для установки в источники бесперебойного питания и могут использоваться в ветровой и солнечной энергетике;
- «запас прочности» по цене – стоимость таких батарей примерно в два раза ниже литий-ионных;
- пожаробезопасность, обусловленная отсутствием горючих компонентов и разогрева в процессе работы;
- экологическая безопасность и легкость утилизации и переработки компонентов;
- **мощность и энергия редокс-батарей не зависят друг от друга: запас энергии зависит от объема раствора, а мощность - от площади электродов: количества и размера ячеек.**

## Недостатки проточных редокс-батарей

- небольшая плотность хранения энергии (если на каждый килограмм литий-ионного аккумулятора приходится от 80 до 200 Вт·ч·кг<sup>-1</sup>, то в проточном редокс-аккумуляторе только 35 Вт·ч·кг<sup>-1</sup> – при такой плотности энергии накопитель получится огромным);
- значительные издержки, связанные с монтажом и пусконаладкой, в основном обусловленные крупными размерами проточных накопителей;
- сильная зависимость от окружающей температуры.

# **Проточные батареи на основе неорганических редок-систем**



## Характеристики перспективных неорганических редокс-систем для проточных батарей

Редокс-система	Отрицательный электрод		Положительный электрод		Напряжение разомкнутой цепи (НРЦ), В
	Электролит	$E_{-}$ , В	Электролит	$E_{+}$ , В	
V/V	$V^{3+} + e^{-} \rightarrow V^{2+}$	-0,255	$V^{5+} + e^{-} \rightarrow V^{4+}$	0,991	1,2
Fe/Cr	$Cr^{3+} + e^{-} \rightarrow Cr^{2+}$	-0,407	$Fe^{3+} + e^{-} \rightarrow Fe^{2+}$	0,771	1,2
Br/S	$S + 2e^{-} \rightarrow 2S^{2-}$	-0,480	$Br_2 + 2e^{-} \rightarrow 2Br^{-}$	1,087	1,5
Zn/Br <sub>2</sub>	$Zn^{2+} + 2e^{-} \rightarrow Zn$	-0,763	$Br_2 + 2e^{-} \rightarrow 2Br^{-}$	1,087	1,9
Ti/O	$Ti^{3+} + e^{-} \rightarrow Ti^{2+}$	-0,900	$O_2 + 4H^{+} + e^{-} \rightarrow 2H_2O$	1,229	2,1
Cr/O	$Cr^{3+} + e^{-} \rightarrow Cr^{2+}$	-0,407	$O_2 + 4H^{+} + e^{-} \rightarrow 2H_2O$	1,299	1,6

# Коммерческое использование проточных батарей на основе неорганических редокс-систем

- В настоящее время коммерческого применения достигли три электрохимические системы:
- **V|V** (Golden Energy Fuel Cell, Prudent Energy, Cellstrom Power),
- **Fe|Cr** (Deeya Energy),
- **Zn|Br** (Premium Power).
- Наибольшее распространение получила только ванадиевая редокс-проточная батарея, изобретенная в 1984 году Skyllas-Kazacos и его коллегами из Университета Нового Южного Уэльса, Австралия

# Ванадиевая проточная редокс-батарея (Vanadium Redox-Flow Battery – VRFB)



Рис. 2. Принцип работы ванадиевой проточной редокс-батареи.

## Ванадиевая проточная редокс-батарея (Электрохимические реакции)

На отрицательном электроде идет реакция:



На положительном:



Суммарная реакция:



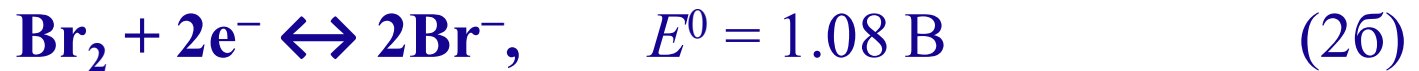
Практическая удельная энергия - 25-30 Вт·ч·кг<sup>-1</sup>

## Цинк-бромная проточная редокс-батарея (Zinc/Bromine Redox-Flow Battery – ZBFB)

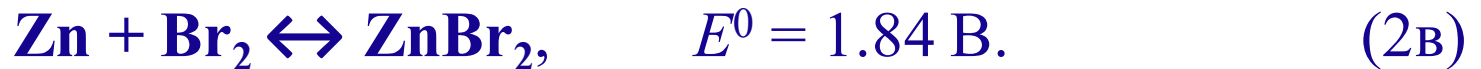
На отрицательном электроде идет реакция:



На положительном:



Суммарная реакция:



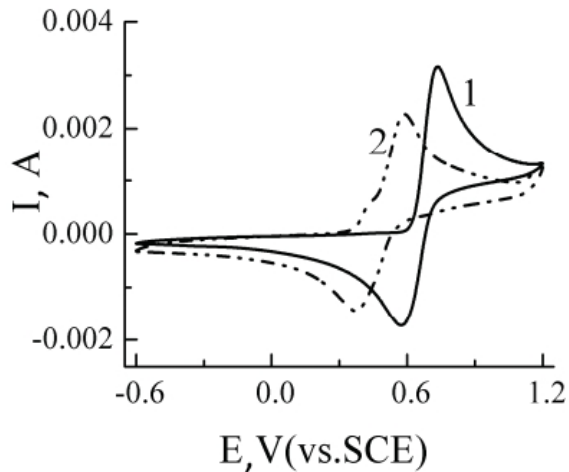
Теоретическая удельная энергия - 440 Вт·ч·кг<sup>-1</sup>

Практическая удельная энергия - 65-75 Вт·ч·кг<sup>-1</sup>

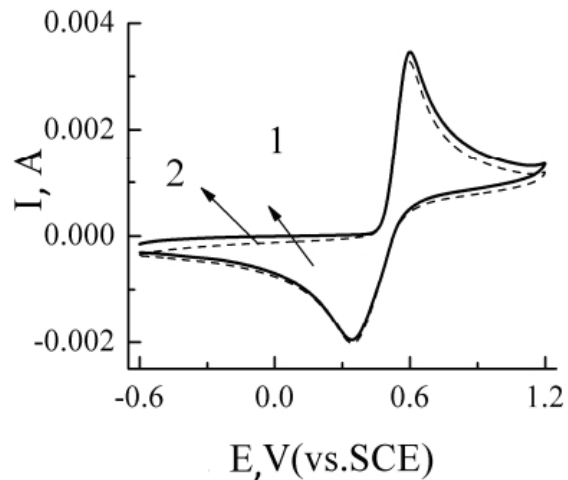
# Гибридные проточные редокс-батареи

## Гибридные редокс-батареи на основе:

- (а) – 4,5-дигидрокси-1,3-бензолдисульфоната(тирон)//PbSO<sub>4</sub>/Pb  
(б) – 2,5-дигидроксибензолдисульфоната (сульфохинол)//PbSO<sub>4</sub>/Pb



(a)



(a)

(b)

- (b) Рис. 3. Циклические вольтамперограммы 0,05M растворов тирона (а) и сульфохинола (б) на графитовом электроде в 3 М Н<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>: (1) до и (2) после заряд-разрядного цикла, скорость сканирования потенциала: 10 мВ/с

# Гибридная редокс-батарея на основе 9,10-антрахинон-2,7-дисульфоновой кислоты (AQDS/AQDSH<sub>2</sub>) с редокс-парой Br<sub>2</sub>/Br<sup>-</sup>

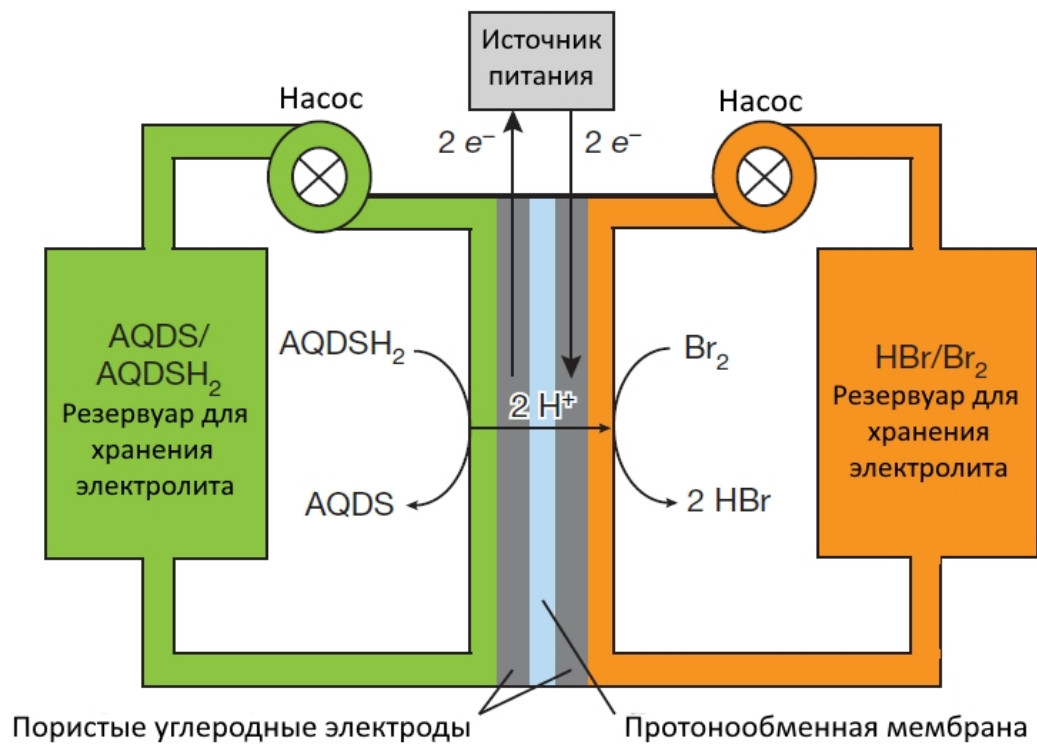


Рис. 4. Схема антрахинон-бромидной проточной батареи (показан режим разряда; стрелки перевернуты для режима заряда)



## Влияние функционализации антрахинона на его электрохимические свойства

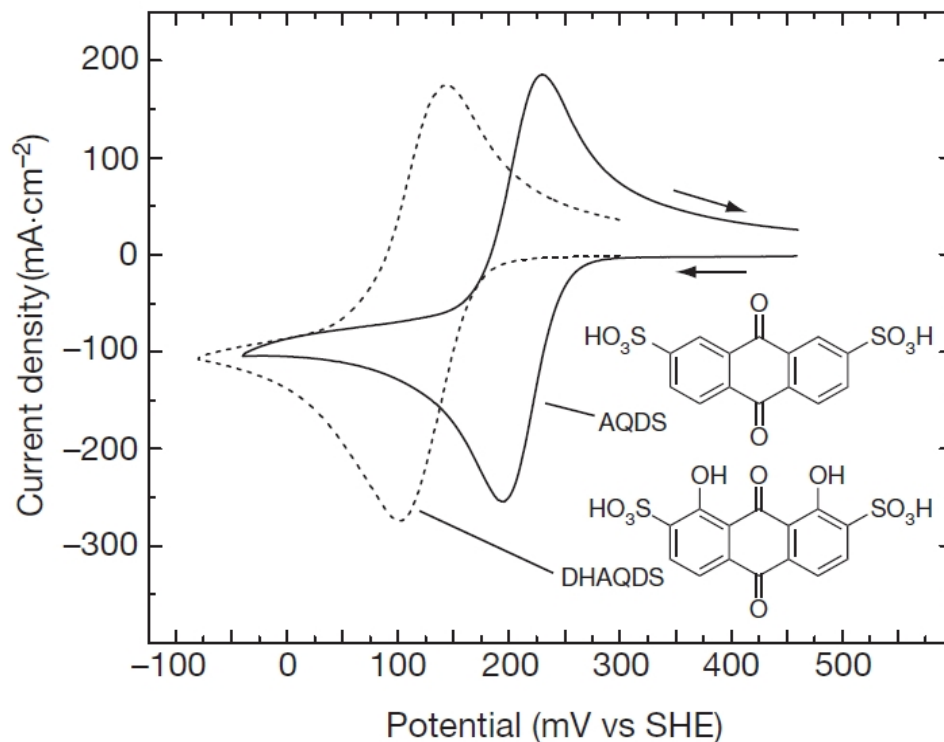


Рис. 5. Циклические вольтамперограммы 1 мМ AQDS и DHAQDS в 1М H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> на стеклоуглеродном электроде (скорость сканирования потенциала 25 мВ/с)

# Щелочная гибридная редокс-батареи на основе 2,6-дигидроксиантрахинон и ферроцианида калия

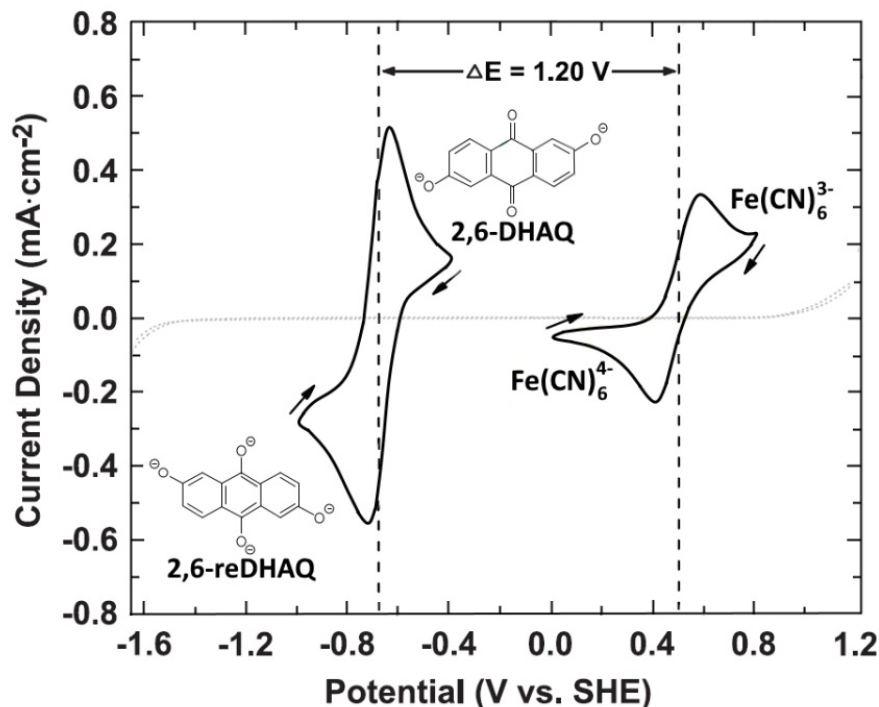


Рис. 6. Циклические вольтамперограммы 2 мМ растворов 2,6-DHAQ и ферроцианида в 1 М KOH, сканированная при 100 мВ/с на стеклоуглеродном электроде (стрелки указывают направление сканирования)

# Щелочная гибридная редокс-батареи на основе 2,5-дигидрокси-1,4-бензохинона (DHBQ) и ферроцианида калия

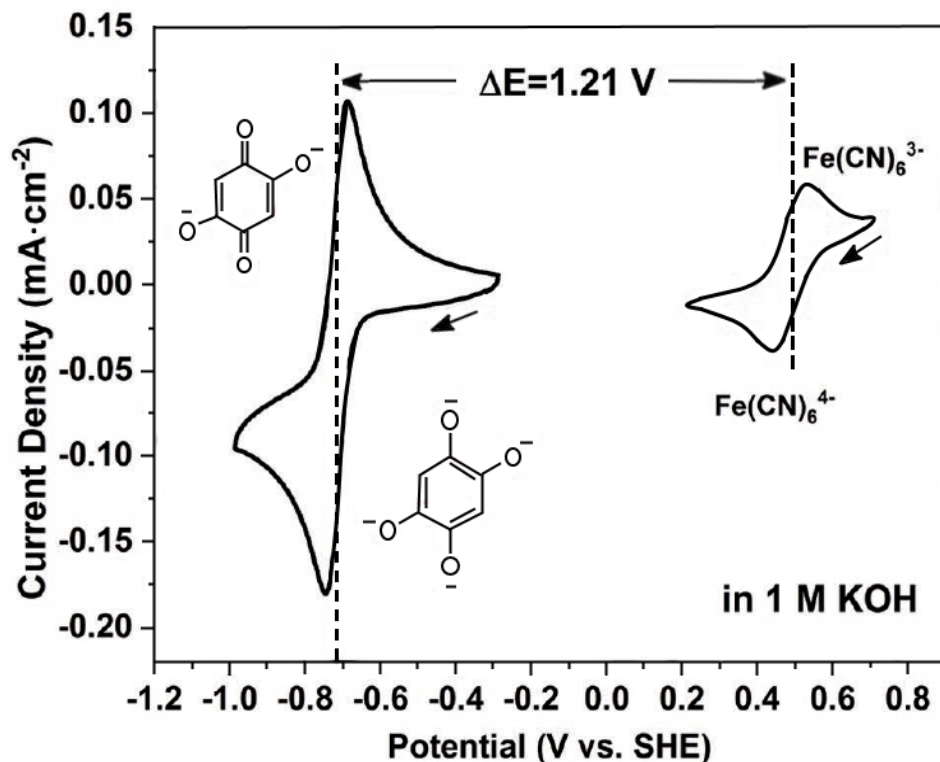
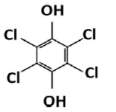
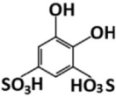
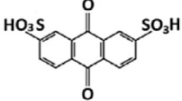
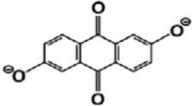
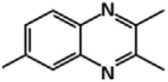


Рис. 7. Циклические вольтамперограммы 1 мМ растворов  $\text{K}_3\text{Fe(CN)}_6$  /  $\text{K}_4\text{Fe(CN)}_6$  и DHBQ / восстановленный DHBQ в 1 М KOH, сканированная при 10 мВ/с на стеклоуглеродном электроде (стрелки указывают направление сканирования)

# Эксплуатационные характеристики гибридных проточных редокс-батарей в водных электролитах

Редокс-система	Отрицательный активный материал (в разряженном состоянии)	Положительный активный материал (в разряженном состоянии)	Электролит	Компоненты ячейки	Прибл. Экспер. НРЦ, В	Прибл. % Эффективность системы	Кол-во циклов
Кадмий / хлорбензохинон (кислотная)	$Cd^{2+}$		1 M $(NH_4)_2SO_4$ + 0,5 M $H_2SO_4$ ; 0,5 M отрицательных активных веществ	Кадмий, хлоранил / без сепаратора	1,2	Кулоновская: 99 Энергетическая: 82 (10 $mA \cdot cm^2$ )	100
Свинец / бензохинон (кислотная)	$PbSO_4$		1 M $H_2SO_4$ ; 0,25 M положительных активных веществ.	Углеродные войлоки / Nafion 115	1,1	Кулоновская: 99 Энергетическая: 80 (10 $mA \cdot cm^2$ )	10
Антрахинон – бромид (кислотная)		$HBr$	1 M $H_2SO_4$ ; 0,1-1 M отрицательный активный материал; 0,5-2,5 M положительный активный материал	Копировальная бумага / Nafion 212	0,86	Кулоновская: 99 (200-500 $mA \cdot cm^2$ )	>10
Антрахинон – Феррицианид (щелочная)		$Fe(CN)_6^{4-}$	1 M KOH; 0,5 M отрицательный активный материал; 0,4 M положительный активный материал	Копировальная бумага / Nafion 212	1,2	Кулоновская: 99 Энергетическая: 84 (100 $mA \cdot cm^2$ )	100
Хиноксалин / Феррицианид (щелочная)		$Fe(CN)_6^{4-}$	0,2 M KOH + 0,067 M KCl + 0,5 M $K_2SO_4$ ; 0,2 M KOH + 0,5 M $K_2SO_4$ ; 0,1 M отрицательный активный материал; 0,08 M положительный активный материал	Carbon felts/lithiated Nafion 117	1,4	Кулоновская: 92 Энергетическая: 83 (1,76 $mA \cdot cm^2$ )	200

# **Проточные батареи на основе органических редокс-систем (ORBAT)**

# Полностью органическая редокс-батареи на основе 4,5-дигидроксибензол-1,3-дисульфоновой кислоты (BQDS) и антрахинон-2,6-дисульфоновой кислоты (AQDS)

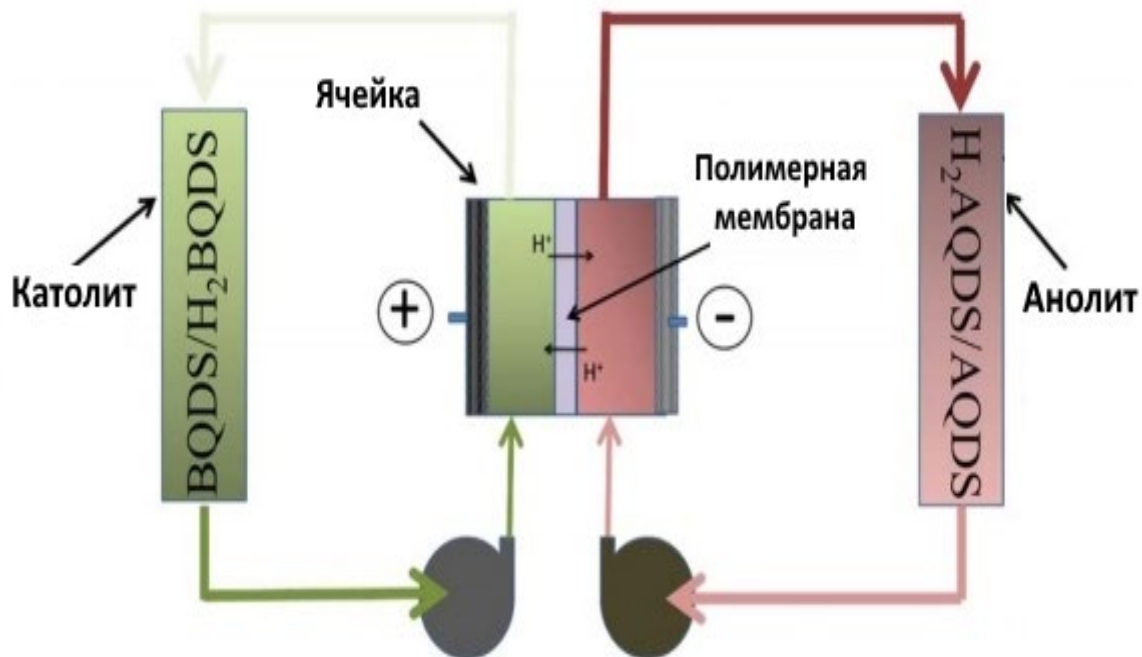
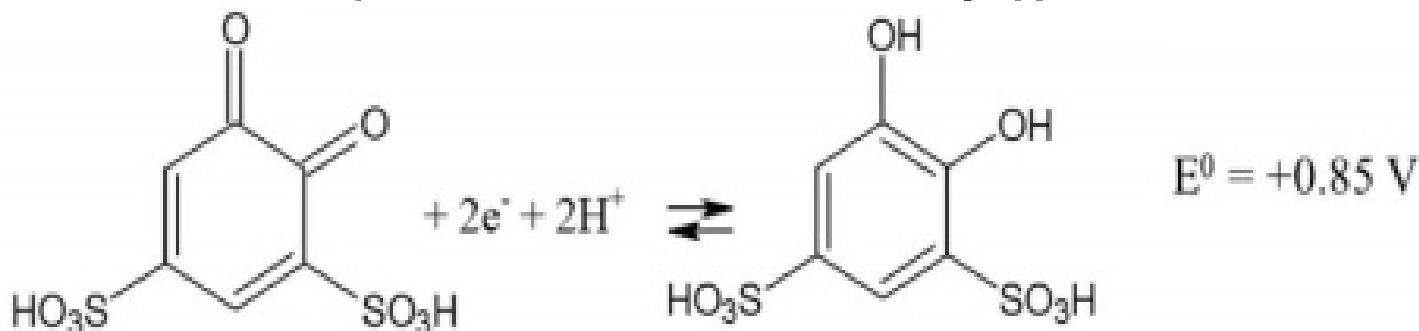


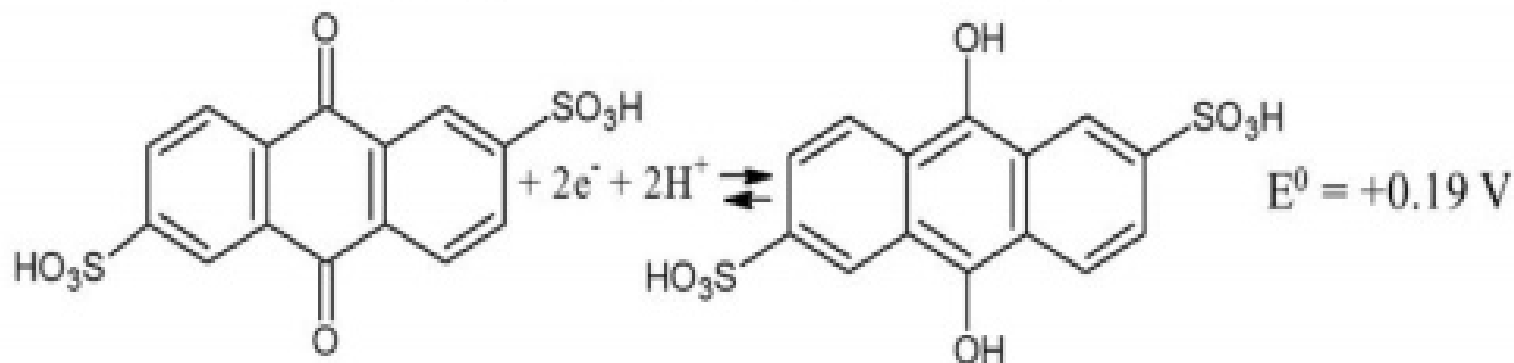
Рис. 8. Схема органической проточной редокс-батареи (ORBAT) с использованием водных растворов BQDS на положительном и AQDS на отрицательном электродах

# Электрохимические реакции, протекающие на электродах редокс-батареи ORBAT

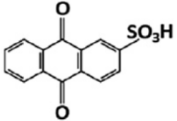
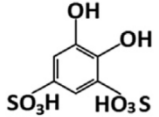
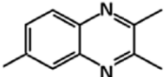
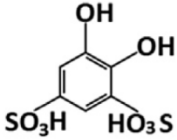
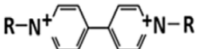
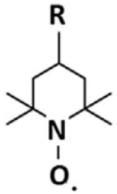
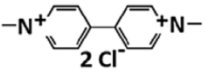
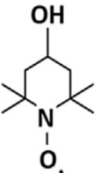
Реакция на положительном электроде



Реакция на отрицательном электроде



# Эксплуатационные характеристики некоторых полностью органических проточных редокс-батарей

Редокс-система	Отрицательный активный материал (в разряженном состоянии)	Положительный активный материал (в разряженном состоянии)	Электролит	Компонетны ячейки	Прибл. Экспер. НРЦ, В	Прибл. % Эффективность системы	Кол-во циклов
Антрахинон/бензохинон (кислотная)			1 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ; 0,2 M активных материалов	Копировальная бумага / Nafion 117	0,76	Кулоновская: > 95% (8-10 мА·см <sup>2</sup> )	>12
Хиноксалин/бензохинон (щелочно-кислотная)			0,2 M KOH + 0,067 M KCl + 0,5 M K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ; 0,4 M H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + 0,5 M K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ; 0,1 M активных материалов	Углеродный войлок/литированного Nafion 117	1,4-1,5	Кулоновская: > 70% (0,35 мА·см <sup>2</sup> )	>10
Виологен на полимерной основе/TEMPO (нейтральная)			2 M NaCl; 15 мл отрицательных активных веществ; 10 мл положительных активных веществ	Углеродные войлоки/ диализная мембрана на основе целлюлозы	1,1	Кулоновская: 99 Энергия: >75 (20-40 мА·см <sup>2</sup> )	10
Метилвый виологен/гидроксил-TEMPO (нейтральная)			1 M NaCl; 0,1 M активных веществ	Углеродные войлоки/ Selenion	1,25	Кулоновская: 99 Энергия: 45-82 (20-100 мА·см <sup>2</sup> )	100



## Концепция симметричной органической редокс-батареи на основе ализарина

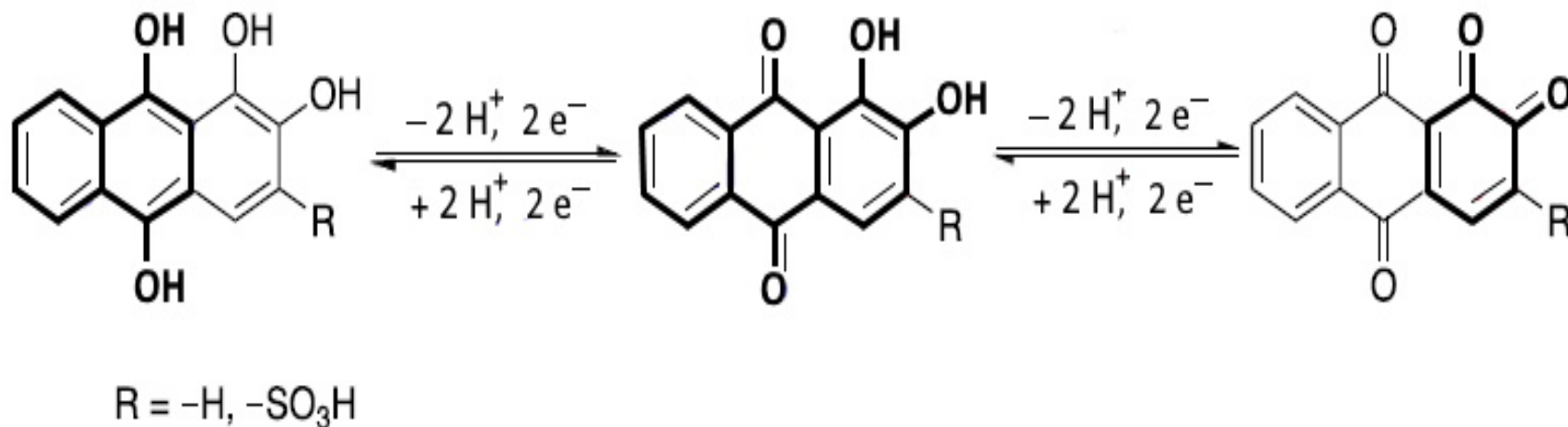


Рис. 9. Ализарин (в центре) принимает два электрона и два протона для полного восстановления (слева) или отдает два электрона и два протона для полного окисления (справа) в окислительно-восстановительных реакциях

# Электрохимическое поведение симметричных твердотелных редокс-батарей на основе функционализованного и нефункционализированный, ализарина

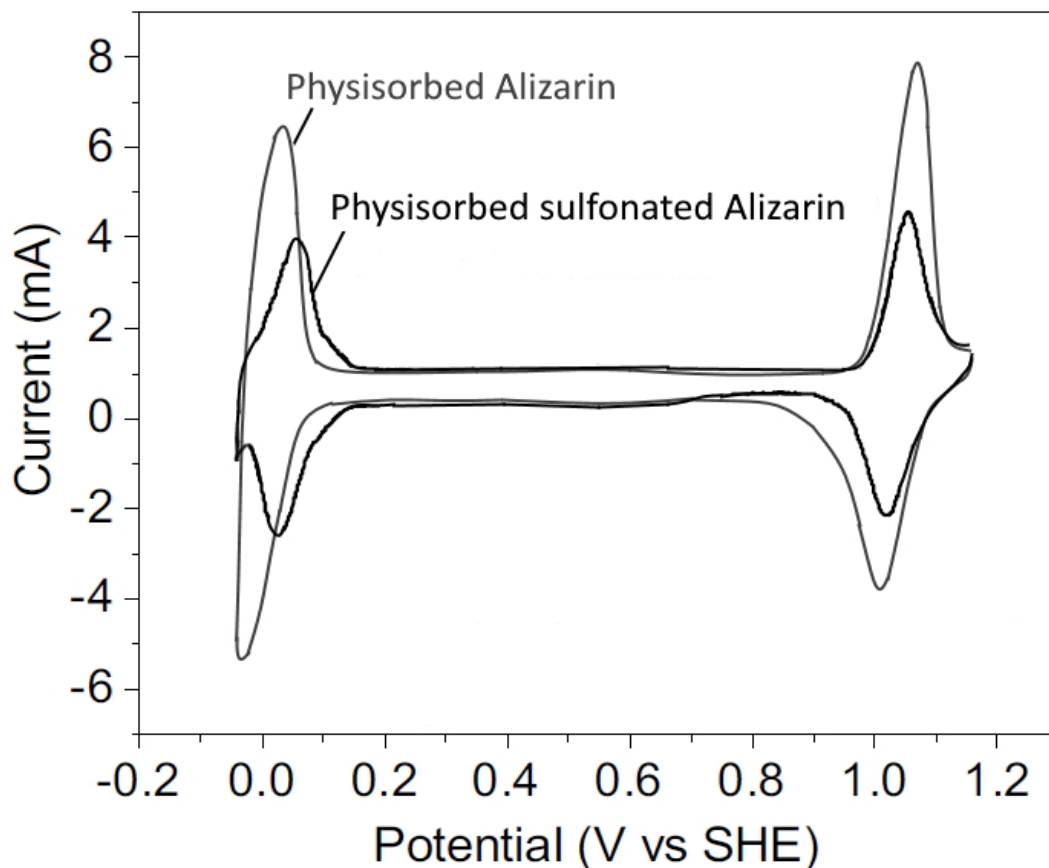


Рис. 10. Циклические вольтамперограммы адсорбированного ализарина и сульфоната ализарина в 1 М  $\text{H}_2\text{SO}_4$  на на копировальную бумагу. Скорость сканирования потенциала: 10 мВ/с

## Характеристики симметричной ализариновой ячейки

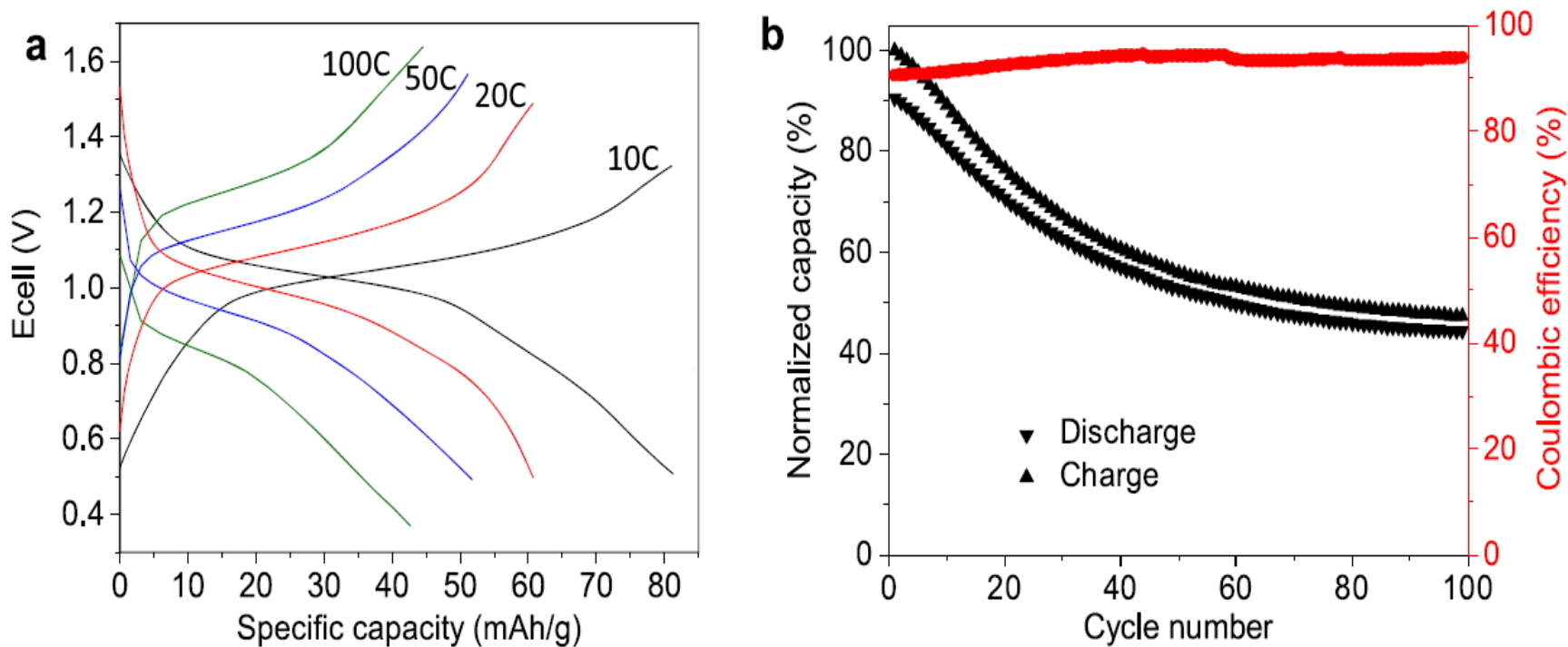


Рис. 11. (а) Скоростная характеристика симметричного твердотельного ализаринового элемента при 10, 20, 50 и 100С. Удельная емкость основана на общем количестве активного материала ализарина на обоих электродах 223,3 мАч/г при 1С.

(б) Циклическая стабильность ализариновой ячейки при 10С

# Основные выводы

1. Конструкция редокс-проточных батарей обеспечивает значительное преимущество перед твердотельными аккумуляторными батареями за счет разделения **энергии и выходной мощности**: первая определяется размером бака и концентрацией электролита, вторая - площадью электродов.
2. Водные органические редокс-батареи используют водорастворимые органические и металлоорганические окислительно-восстановительные молекулы, состоящие только из доступных органических соединений. В основном это производные **хинона, антрахинона и ализарина**. Их высокая растворимость в воде, хорошо разделенные потенциалы окисления-восстановления, практически исключают расщепление воды, стабильность, безопасность и низкая стоимость в масштабах массового производства, являются наиболее важными характеристиками для новых водных органических электролитов.
3. Помимо этого, органический подход освобождает окислительно-восстановительную химию от ограничений, связанных с небольшим числом элементарных окислительно-восстановительных пар неорганической природы, которые реально могут быть использованы в проточных редокс-батареях.

## Основные выводы (продолжение)

4. Гибридные батареи, где используются органические и неорганические материалы, показали довольно хорошие результаты, и вполне могут заменить в недалеком будущем неорганические редокс-батареи. Оптимизация технических и эксплуатационных параметров, таких как, конструкция электрода, мембранный сепаратор - должна привести к значительным улучшениям производительности и достичь высокой плотности мощности.
5. Перспективным направлением в разработке проточных батарей на основе органических редокс-систем является **концепция симметричных батарей**, в которых окислительно-восстановительный материал принимает участие как на отрицательном электроде (окисляется), так и на положительном электроде (восстанавливается). Эта методология позволяет создавать твердотельные симметричные редокс-батареи (суперконденсаторы) для накопления электроэнергии.
6. Использование органических веществ в симметричном элементе расширяет ресурсы недорогих окислительно-восстановительных материалов для водных аккумуляторных батарей, а простая конструкция элемента позволит в будущем оптимизировать работу в направлении безопасной, дешевой, легкой и гибкой электроники.

## **ПРОГРАММА НИОКР**

**«Разработка проточных батарей на основе органических редокс-систем для крупномасштабного стационарного накопления и хранения электрической энергии»**

# Основные этапы программы

## I этап

1. Поиск эффективных редокс-систем органической природы проточных батарей на основе производных хинона и антрахинона.
2. Разработка способов получения эффективных органических редокс-систем на основе производных хинона и антрахинона; изучение их физико-химических свойств.

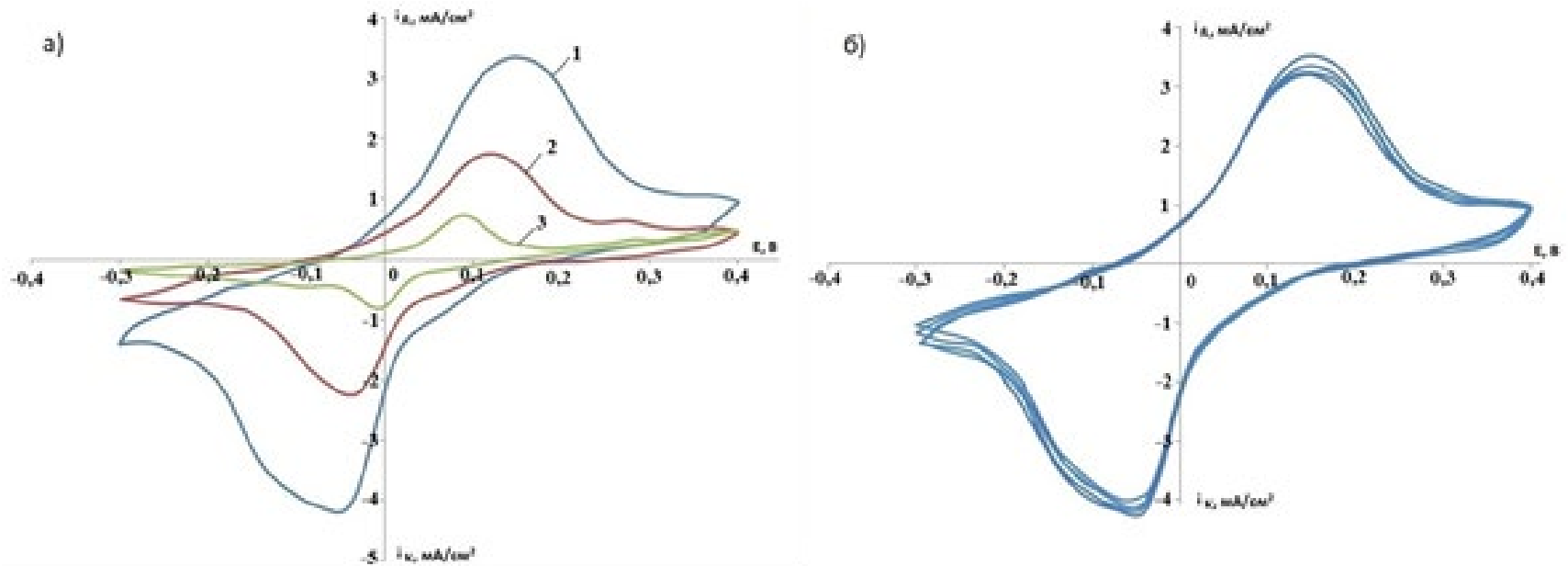
## II этап

Разработка конструкции опытной батареи проточного типа и технологической схемы получения органических редокс-систем на основе производных хинона и антрахинона.

## III этап

Разработка технологии получения органических редокс-систем и изготовление пилотной батареи проточного типа для стационарного накопления и хранения энергии.

# Электрохимическое поведение хинона на графитовом электроде



- Рис. 1. Циклические вольтамперограммы процессов, протекающих в 0,1 М растворе хинона в 1 М  $\text{H}_2\text{SO}_4$  на графитовом электроде: а) при различной скорости развертки потенциала,  $\text{mV}\cdot\text{s}^{-1}$ : 1 – 10, 2 – 5, 3 – 1; б) при скорости развертки потенциала 10  $\text{mV}/\text{s}$  на 1-10 циклах.



**Результаты интегрирования поляризационных кривых, снятых на графитовом электроде в растворах гидрохинона и хингидрона в 0.5 М растворе серной кислоты**

<b>V = 5 мВ/с</b>		
<b>Электролит</b>	<b>Количество электричества (Q), мКл (Анодный процесс)</b>	<b>Количество электричества (Q), мКл (Катодный процесс)</b>
<b>0,2М гидрохинон в 0,5М серной кислоте</b>	<b>64,3</b>	<b>62,4</b>
<b>0,01М хингидрон в 0,5М серной кислоте</b>	<b>111,6</b>	<b>104,2</b>
<b>0,02М хингидрон в 0,5М серной кислоте</b>	<b>164,5</b>	<b>147,5</b>

## Электрохимическое поведение антрахинона и натриевой соли антрахинон-2-сульфонокислоты на графитовом электроде

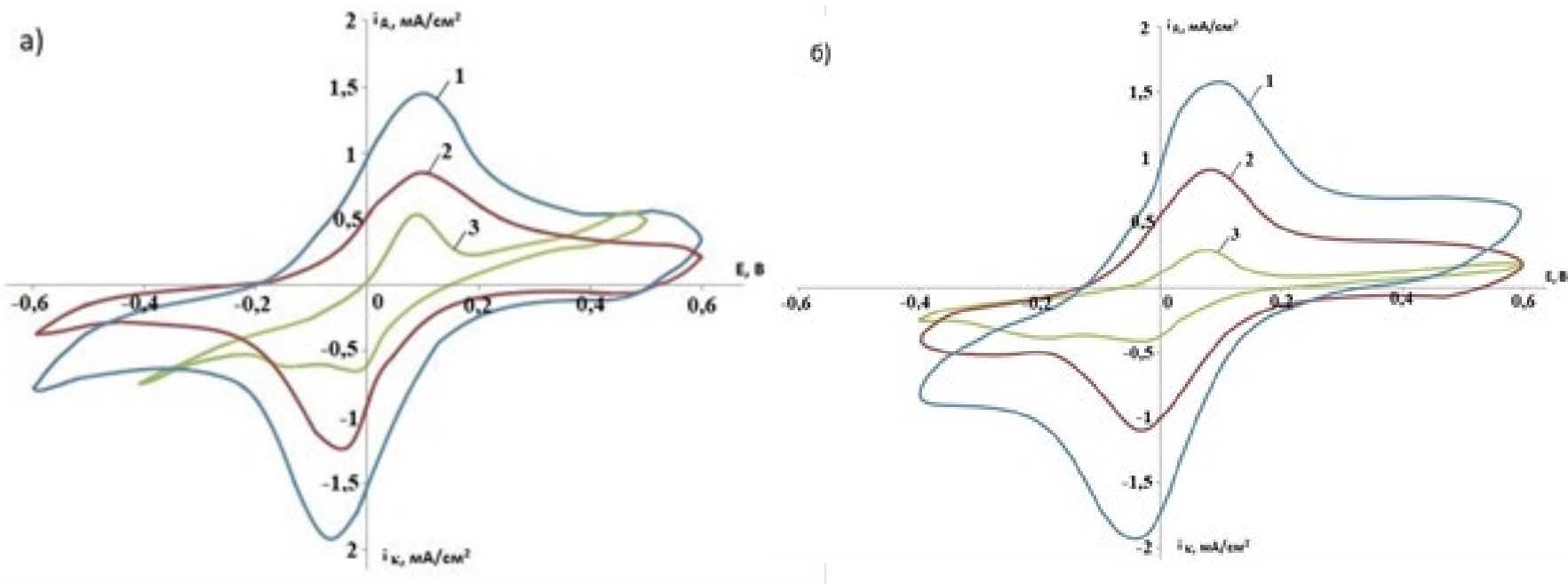
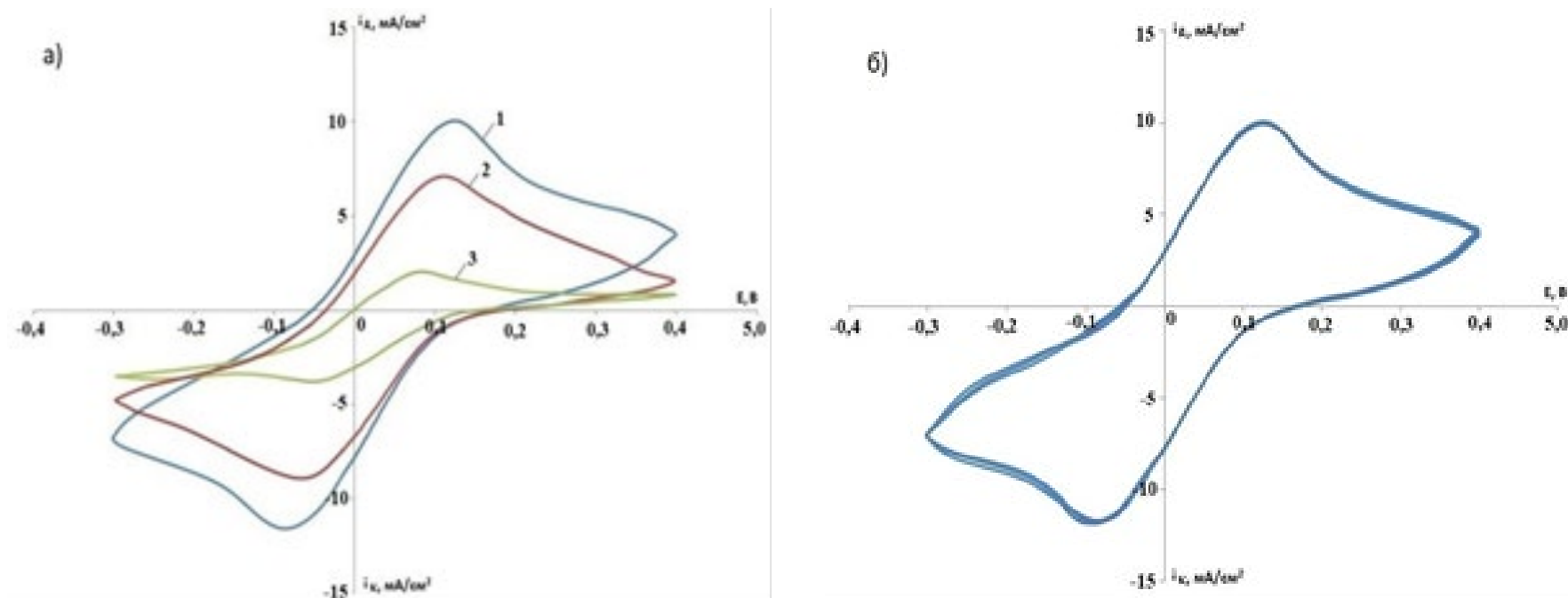


Рис. 2. Циклические вольтамперограммы процессов, протекающих в 0,001 М растворе антрахинона (а) и натриевой соли антрахинон-2-сульфонокислоты; (б) в 1 М  $\text{H}_2\text{SO}_4$  на графитовом электроде при различной скорости развертки потенциала,  $\text{mV}\cdot\text{s}^{-1}$ : 1 – 10, 2 – 5, 3 – 1.

# Электрохимическое поведение 0.1 М раствора натриевой соли антрахинон-2-сульфо кислоты на графитовом электроде в 1 М H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>



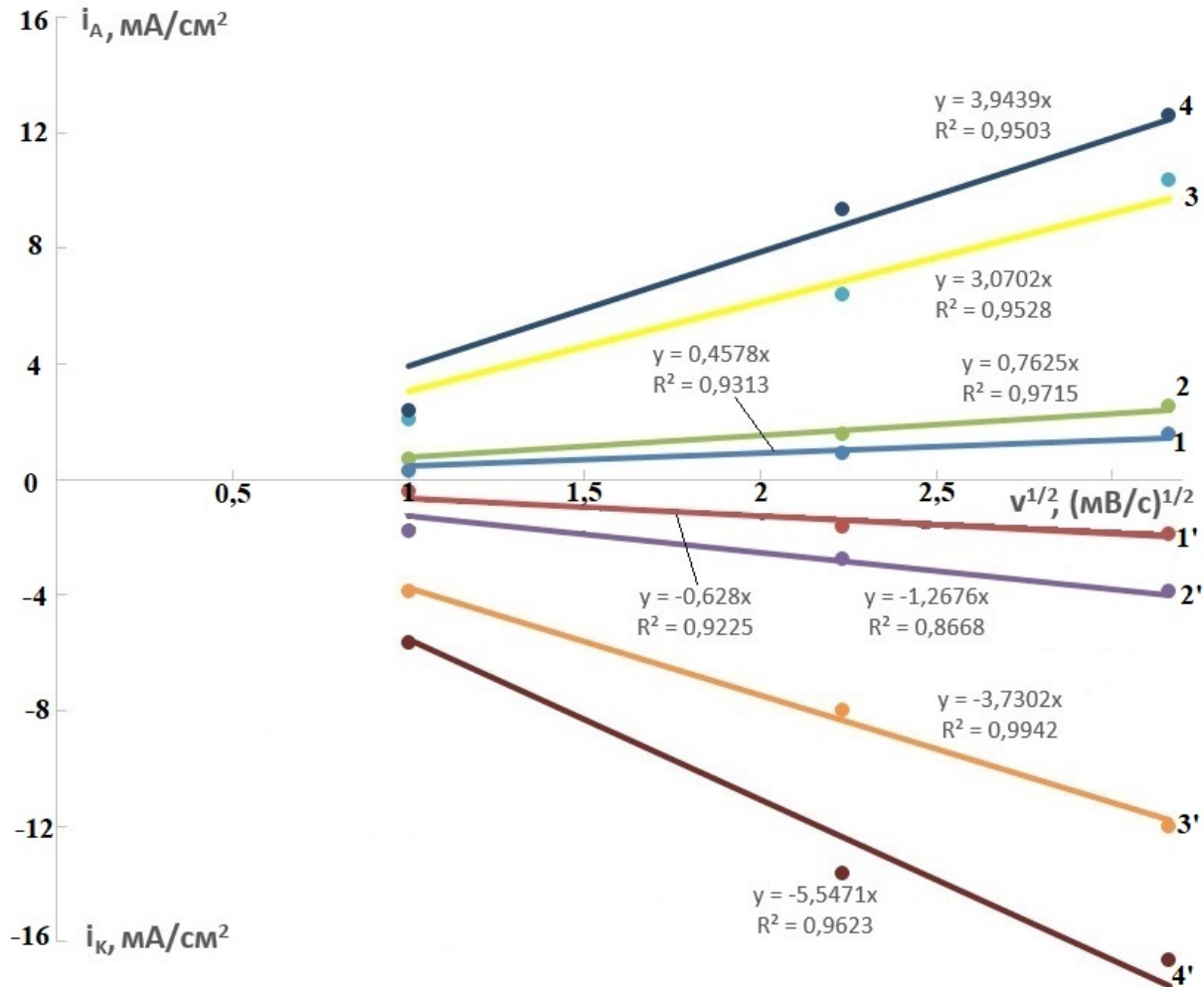
- Рис. 3. Циклические вольтамперограммы 0,1 М раствора натриевой соли антрахинон-2-сульфо кислоты в 1 М H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> на графитовом электроде: а) при различной скорости развертки потенциала, мВ·с<sup>-1</sup>: 1 – 10, 2 – 5, 3 – 1; б) при скорости развертки потенциала 10 мВ·с<sup>-1</sup> на 1-10 циклах

**Таблица 2**

**Результаты интегрирования вольтамперных кривых процессов анодного окисления и катодного восстановления растворов натриевой соли гидрохинон-2-сульфо кислоты на графитовом электроде в 1.0 М H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> при различной концентрации соли ( $v=5$  мВ/с).**

Электролит	Анодный процесс $Q_A$ , мКл/см <sup>2</sup>	Катодный процесс $Q_K$ , мКл/см <sup>2</sup>
0.001 М антрахинон-2-сульфо кислота натриевая соль в 1 М серной кислоте	49	51
0.01 М антрахинон-2-сульфо кислота натриевая соль в 1 М серной кислоте	64	74
0,1 М антрахинон-2-сульфо кислота натриевая соль в 1 М серной кислоте	347	370
0,2 М антрахинон-2-сульфо кислота натриевая соль в 1 М серной кислоте	476	484

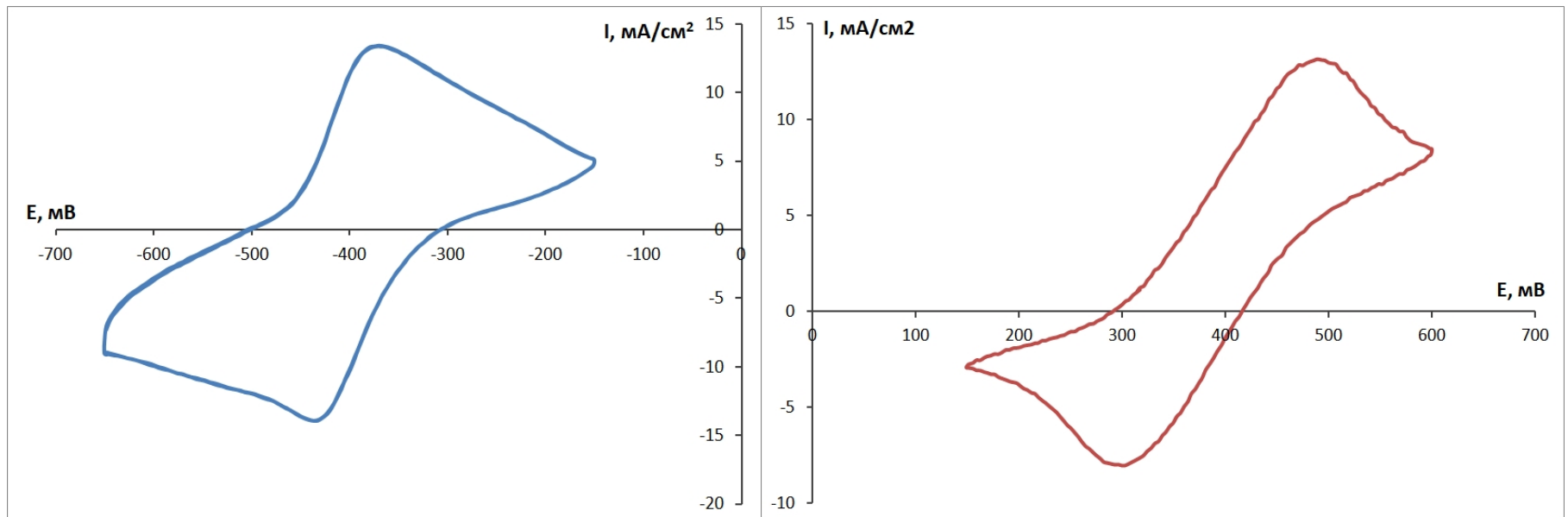
**Рис. 4. Зависимость плотности токов максимума анодного окисления (1, 2, 3, 4) и катодного восстановления (1', 2', 3', 4') растворов натриевой соли антрахинонсульфо-кислоты на графитовом электроде в 1 М Н<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> от квадратного корня из скорости развертки потенциала при различной концентрации соли, М: 0,001 (1,1'), 0,01 (2,2'), 0,1 (3,3') и 0,2 (4,4').**



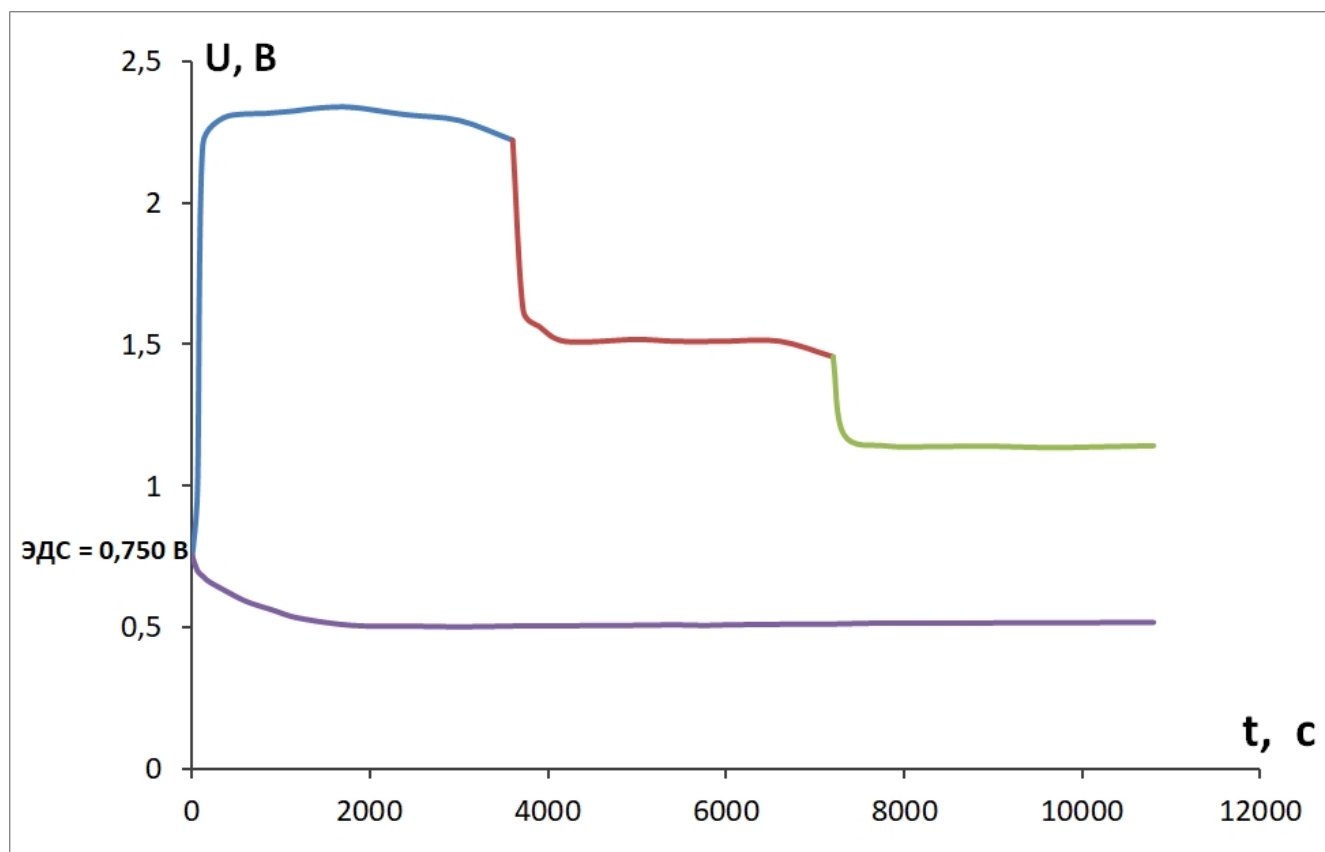
# Электрохимическое поведение анода (А) и катода (В) макета проточной батареи в 1.0 М растворе КОН

**А) – натриевая соль антрахинон-сульфо кислоты (0,1 М)**

**В) – железобромоцианидная редокс-пара (0,2 М)**



**Зарядные и разрядные кривые макета  
проточной батареи на основе:  
натриевой соли антрахинонсульфо кислоты (0,1 М) и  
железоферроцианидной редокс-пары (0,2 М) в 1,0 М КОН:  
- скорости заряда: 25, 10, 5 ма/см<sup>2</sup>;  
- скорость разряда: 25 ма/см<sup>2</sup>**



# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведен отбор органических редокс-систем для разработки полностью органической проточной батареи и изучены их электрохимические свойства.
  - В качестве редокс-системы для отрицательного электрода исследованы следующие химические соединения: **антрахинон-2-сульфоновая кислота, антрахинон-2,6-дисульфоновая кислота, 1,8-дигидроантрахинон-2,7-дисульфоновая кислота.**
  - В качестве редокс-системы для положительного электрода исследованы: **1,2-бензохинон-3,5-дисульфоновая кислота, 4,5-дигидроксибензол-1,3-дисульфоновая кислота.**
  - В 1 М растворе  $H_2SO_4$  напряжение исследуемых ячеек составляло 0.8–1.1 В. Исследования показали, что при скорости циклирования ячеек 100 мА/см<sup>2</sup> кулоновская эффективность близка к 95-100%.
2. Изучение электрохимического поведения хинона, антрахинона и некоторых его производных показало, что дальнейшей функционализации соединений на их основе возможна разработка конкурентно способной, экологически безопасной проточной редокс-батареи с хорошими техническими характеристиками для различных приложений.
3. Переход к редокс-системам на основе органических молекул, имеющих большие размеры и анионную форму, в значительной степени устраняет кроссовер (проницаемость) таких молекул через катионообменные мембраны. Это позволит в дальнейшем, при оптимизации работы проточной батареи, использовать более дешевые мембраны по сравнению с мембраной «Nafion» (например, мембраны на основе целлюлозы).



## ПУБЛИКАЦИИ

1. *Годяева М. В., Казаринов И. А., Воронков Д. Е., Олискевич В. В., Остроумов И. Г.* Проточные батареи на основе органических редокс-систем для крупномасштабного хранения электрической энергии // *Электрохимическая энергетика*. 2021. Т. 21, No 2. С. 59–85. <https://www.doi.org/10.18500/1608-4039-2021-21-2-59-85>
2. *Казаринов И. А., Воронков Д. Е., Годяева М. В., Олискевич В. В., Никоноров П. Г., Талаловская Н. М., Абрамов А. Ю.* Электрохимические свойства хинонов, антрахинонов и их производных потенциальных редокс-систем для проточных батарей // *Электрохимическая энергетика*. 2021. Т. 21, No 4. С. 177–190. <https://doi.org/10.18500/1608-4039-2021-21-4-177-190>

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**