

**УДК 502:620.9**

БУЙМОВ С.Д., учащийся 11 класса (МБОУ СШ № 26 г. Иваново)  
Научный руководитель БУЙМОВА С.А., к.х.н., доцент (ФГОУ ВО ИГХТУ)  
г. Иваново

## **ПРИМЕНЕНИЕ БАТАРЕИ ВОДОРОДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ**

Ископаемое топливо относится к невозобновляемым природным ресурсам. В настоящее время возрастают скорость и объёмы добычи нефтяных ресурсов; при современной динамике потребления эти энергоносители в России закончатся примерно через 20–30 лет. Запасов природного газа, учитывая текущие объёмы добычи, хватит приблизительно на 50–70 лет [1].

По мере того, как ископаемое топливо будет заканчиваться, цена на него будет расти. Стоит также подчеркнуть, что при использовании такого вида топлива в атмосферу выделяются вредные вещества, обладающие токсичным и канцерогенным эффектами — такие как бензапирен, формальдегид, бензол, соединения свинца [2]. Эти факты создают стимул для поиска альтернативных источников энергии [3].

Использование энергии от водородных технологий и переход на экологически безопасные источники энергии в настоящее время представляют собой стратегическую политику во многих странах мира. Российская Федерация является одним из лидеров в области крупнотоннажного производства водорода в химии, нефтехимии, газохимии, металлургии и др. Вместе с тем Россия существенно отстает от передовых стран в области водородных технологий и топливных элементов (ТЭ), связанных с применением водорода в качестве топлива для различных энергосистем, в том числе в транспортной сфере.

В 2008 году Росстандартом был создан Технический комитет ТК 029 «Водородные технологии», который сотрудничает с международными организациями по стандартизации (такими как ИСО/ISO (International Organization for Standardization) и МЭК (Международная электротехническая комиссия)). ТК 029 разработал 33 национальных и межгосударственных стандарта, большинство из которых идентичны международным [4].

Водородный топливный элемент (ВТЭ) – это устройство, предназначенное для преобразования химической энергии в электрическую, т.е. безопасная альтернатива сжиганию ископаемого топлива. Технология водородных топливных элементов касается в первую очередь области автомобильной промышленности, которая становится всё более важной, поскольку всё больше производителей стремятся к экологичности. Как и электромобили, автомобили на топливных элементах с водородным топливом относятся к автомобилям с низким уровнем выбросов, поскольку в их случае основной вид выбросов от топливного элемента – это водяной пар [3].

Как следствие, изучение энергетических характеристик водородного топливного элемента как альтернативного источника энергии является актуальным. В связи с этим **целью проекта** было получение характеристик водородной топливной батареи.

Для реализации цели были поставлены следующие **задачи**: 1) Изучить теоретический материал по данной теме; 2) Собрать установку и провести эксперимент, определить вольт- и ватт-амперные характеристики водородной батареи топливных элементов; 3) Обработать и проанализировать полученные экспериментальные данные.

**Объект исследования** в работе — водородная БТЭ. **Предмет исследования** — вольт-амперная характеристика (зависимость напряжения —  $U$ , В от силы тока —  $I$ , А) и ватт-амперная характеристика (зависимость мощности —  $P$ , Вт от силы тока —  $I$ , А) водородной БТЭ. **Рабочая гипотеза**: характеристики водородной БТЭ выше или на уровне используемых в настоящее время источников энергии. **Методы исследования**: поисковый, аналитический, экспериментальный.

**Новизна:** получение ВАХ и ВаттаХ для конкретной водородной БТЭ с целью её дальнейшего использования и практического применения. Исследование ВАХ и ВаттаХ для различных протонообменных мембран является перспективным.

**Приборы и оборудование:** электролизёр, редуктор, картридж для хранения  $H_2$ , БТЭ, мультиметр № 1 для измерения силы тока в цепи ( $I$ , А), напряжения на источнике ( $U_{ист.}$ , В), мощности источника ( $P_{ист.}$ , Вт), реостат, мультиметр № 2 (омметр для измерения сопротивления в цепи  $R$ , Ом и вольтметр для измерения напряжения сопротивления  $U_{сопр.}$ , В). Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1.



Рисунок 1. Схема экспериментальной установки

В электролизёре заливается дистиллированная вода, которая в процессе электролиза под действием электрического тока образует газы: кислород ( $O_2$ ) и водород ( $H_2$ ). Водород поступает в картридж для хранения  $H_2$ , присоединённый к электролизёру через редуктор. Картридж-накопитель является промежуточным резервуаром, где  $H_2$  хранится под давлением 3 МПа в виде гидрида металла. В таком картриidge  $H_2$  может храниться долгое время.

Затем картридж через редуктор присоединяется к БТЭ, в которой происходит преобразование химической энергии водорода в электрическую энергию.

При взаимодействии топлива и окислителя на клеммах БТЭ возникает разность потенциалов; таким образом, если к клеммам подключена внешняя нагрузка, через неё потечёт постоянный электрический ток.

Схема цепи для измерения ВАХ и ВатТАХ БТЭ приведена на рис. 2. К БТЭ подключили последовательно мультиметр № 1 для измерения силы тока в цепи ( $I$ , А), напряжения на источнике ( $U_{ист.}$ , В) и мощности источника тока ( $P_{ист.}$ , Вт). С помощью подключённого в цепь реостата проводили изменение величины сопротивления ( $R$ , Ом), а напряжение сопротивления фиксировали с помощью параллельно подключённого мультиметра № 2 (вольтметра  $U_{сопр.}$ , В).

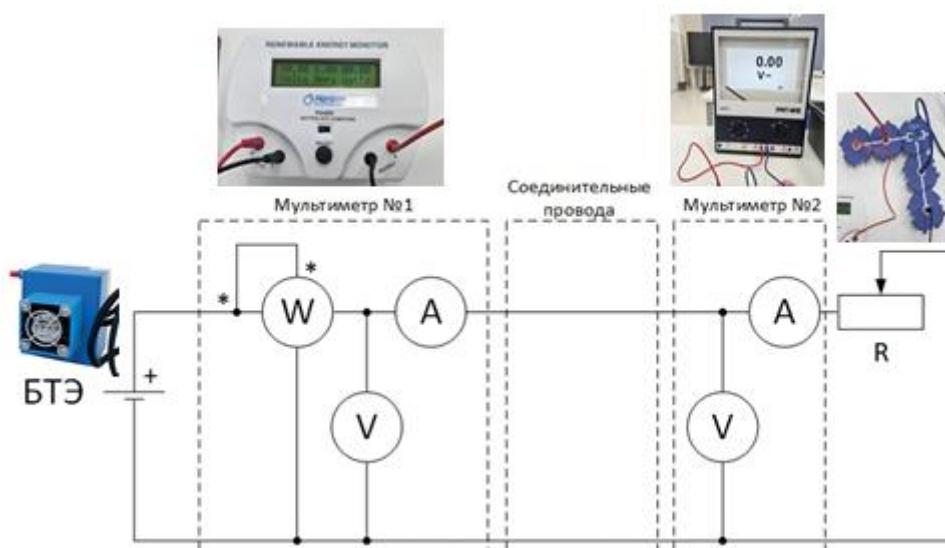


Рисунок 2. Схема цепи для измерения ВАХ и ВатТАХ БТЭ

По полученным в ходе эксперимента значениям были построены графические зависимости, представленные на рис. 3 и 4.

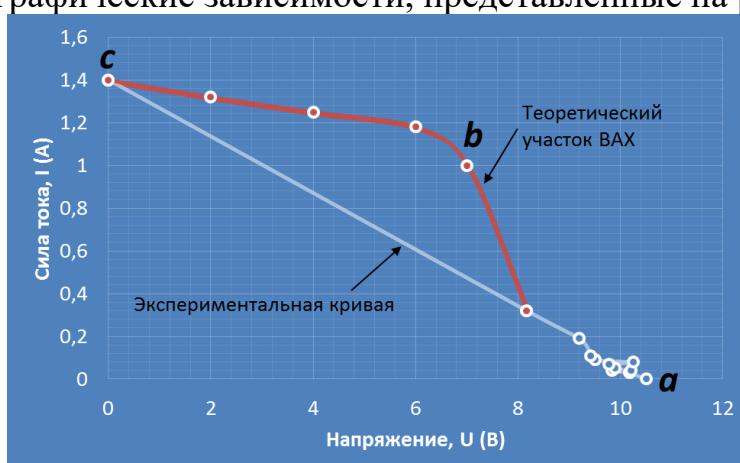


Рисунок 3. Вольт-амперная характеристика (ВАХ) БТЭ

согласуется с графиками, представленными для БТЭ на основе протонообменной мембранны в литературе.

Сравнение полученной в ходе эксперимента зависимости силы тока ( $I$ , А) от напряжения ( $U$ , В) с литературными данными показало, что рассматриваемая нами ВАХ нелинейная и носит экспоненциальный убывающий характер. При этом полученная нами зависимость

Полученная нами зависимость оказалась близка к ВатТАХ для БТЭ на основе протонообменной мембрany, представленной в научной литературе, хотя ход кривой немного отличается. Максимальное значение мощности наблюдалось при  $I = 0,32$  А.

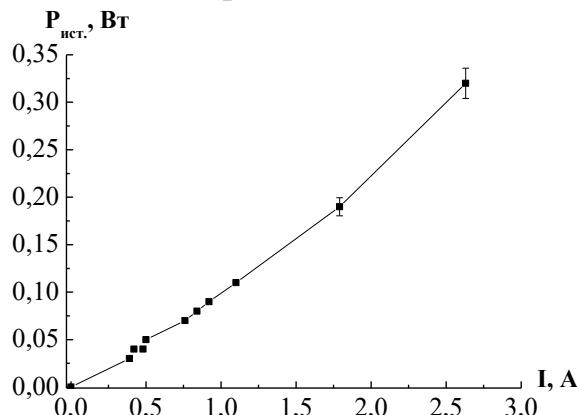


Рисунок 4. Ватт-амперная характеристика (ВатТАХ) водородной БТЭ

Кроме того, было проведено сравнение полученных в ходе эксперимента зависимостей с ВАХ и ВатТАХ БТЭ, с представленными в зарубежной литературе [5]. Полученные нами данные не всегда согласовываются с зависимостями, представленными в литературных источниках. Это может связано с использованием различных видов БТЭ. В проводимом нами исследовании представлена БТЭ на основе протонообменной мембрany.

Кроме того, во время продувки клапана ЭДС топливного элемента сначала возрастает, затем уменьшается, и поэтому необходимо фиксировать максимальное и минимальное значения.

В ходе проведения эксперимента были измерены значения силы тока  $I$ , А (до и после продувки),  $U$ , В (до и после продувки), мощность  $W$ , Вт (до и после продувки), а также сопротивление  $R$ , Ом (рис. 5).

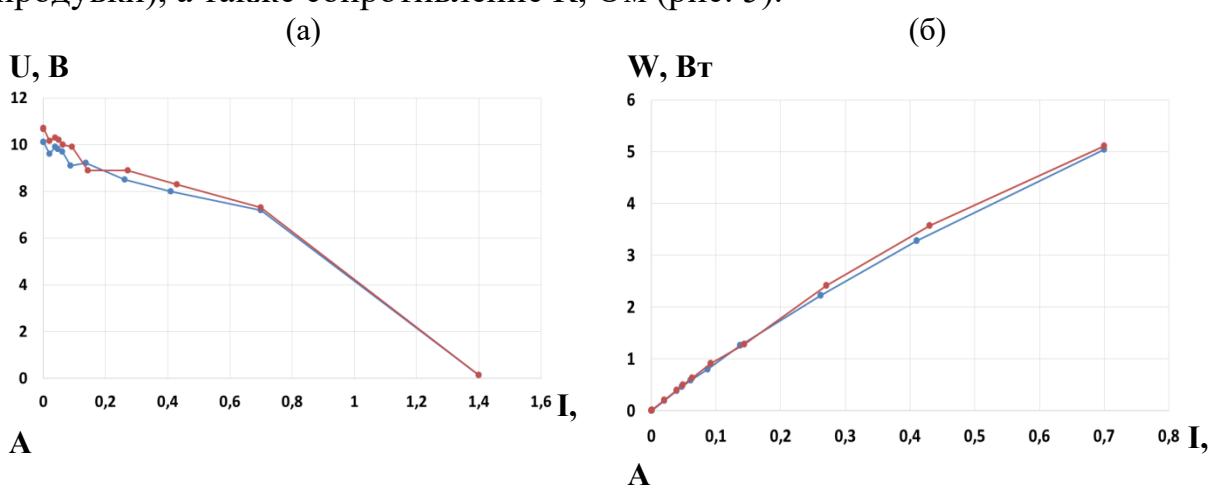


Рисунок 5. ВАХ водородной БТЭ (а) и ВатТАХ БТЭ (б) до и после продувки

— ● — до продувки; — ● — после продувки

Рис. 5а показывает, что полученная ВАХ для БТЭ нелинейна. Зависимость  $U$  (В) от  $I$  (А) определяется различными процессами, происходящими в БТЭ. Полученная поляризационная кривая может быть разделена на 3 участка, которые влияют на общую поляризацию: область активации, омическая

область (область активных потерь) и область концентрации (область переноса масс).

Из рис. 5б сложно определить максимальное значение мощности, т.к. наблюдается рост зависимости  $W$  (Вт) от  $I$  (А). Особо подчеркнём, что мощность, вырабатываемая в области активных потерь, около 3 Вт — она соизмерима и немного превосходит мощность, вырабатываемую электролитическими аккумуляторами.

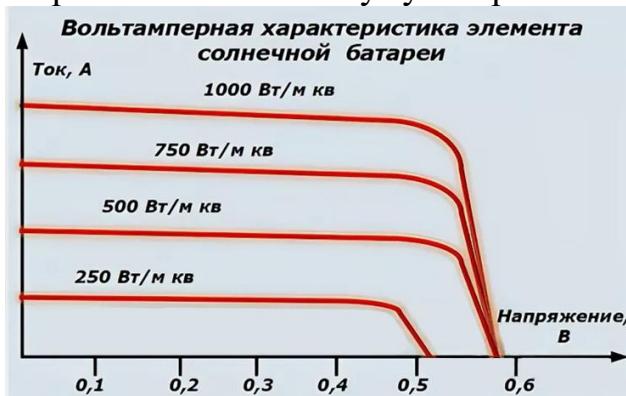


Рисунок 6. ВАХ элемента солнечной батареи

Полученная кривая поляризации оказалась близка к ВАХ элемента солнечной батареи (см. рис. 6). Это доказывает возможность использования водородной БТЭ в качестве альтернативного источника энергии.

Таким образом, нами были проанализированы области ВАХ, в которых работа БТЭ наиболее предпочтительна.

Полученная ВатТАХ близка к линейной, что говорит о стабильной нагружочной способности БТЭ (т.е. при снижении силы тока нет резкого падения мощности). Поскольку в топливных элементах химическая энергия топлива непосредственно преобразуется в электрическую в разомкнутом процессе, близком к изотермическому, а не в термодинамическом цикле, то ограничения эффективности, связанные с КПД цикла, отсутствуют, т.е. теоретический КПД процесса может быть близок к единице.

#### Список литературы:

1. Рахманкулов, Д.Л. О проблеме истощения мировых запасов нефти: [Текст] / Д.Л. Рахманкулов, С.В. Николаева, Ф.Н. Латыпова, Ф.Ш. Вильданов // Башкирский химический журнал. – 2008. – № 2 (15). – С. 5 – 35.
2. Шугаев, О.В. Обоснование выбора и аргументация использования водородного топливного элемента для автомобиля: [Текст] / О.В. Шугаев, Т.П. Воскресенская // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2016. – № 3 (17). – С. 19 – 22.
3. Шарафутдинов, Б.Р. Водородные топливные элементы для электромобилей: оценка рыночного потенциала и экономических выгод для потребителя: [Текст] / Б.Р. Шарафутдинов, М.П. Галимова // Качество в производственных и социально-экономических системах. – 2018. – Т. 2. – С. 261 – 264.
4. Раменский, А.Ю. Вопросы технического регулирования: ключевой элемент формирования рынка водородных технологий и топливных элементов: [Текст] / А.Ю. Раменский // Водородные энергетические

технологии – 2017 (материалы семинара лаборатории ВЭТ ОИВТ РАН). – С. 22 – 30.

5. Current-voltage characteristic of an airbreathing fuel cell / PHYWE excellence in science. – 11 p.