

## ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ СОЛНЕЧНО-ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В ТУРКМЕНИСТАНЕ

В. Сарыев

Государственный энергетический институт Туркменистана, г. Мары

Научный руководитель канд. техн. наук К. А. Сарыев

В настоящее время многие страны мира обращают особое внимание на экономическое будущее низкоуглеродного развития. По мнению международных экспертов, будет снижаться спрос на уголь в последующие десять лет, на нефть – в следующем десятилетии и на газ – в 2040–2050 гг. В качестве примеров – строительство металлургических заводов в Швеции и Германии и использование водорода вместо кокса. Водород также может использоваться в качестве топливного элемента в химической промышленности и в жилом комплексе.

*Структура потребления водорода:*

- Мировой рынок водорода вырос со среднегодовым темпом 2,9 % за период 1990–2020 гг.
- Спрос на водород в 2020 г. составил 87 Мт H<sub>2</sub>.
- Главные направления использования водорода сегодня – в нефтепереработке и в химической промышленности (для производства различных товаров, в первую очередь, – аммиака и метанола).
- Энергетическое использование водорода оценивается всего в 1–2 % от общих объемов его потребления.

*Применение водорода в энергетике:*

- Использование водорода в стационарных топливных элементах малой, средней и большой мощности для преобразования в электрическую и тепловую энергию (полный цикл с исходным производством водорода в электролизерах представляет собой систему «Power-to-Power»).
- Прямое сжигание водорода (либо его производных продуктов, таких, как аммиак) в поршневых газовых двигателях, газовых турбинах и котлах. Представляет собой добавление водорода в смесь природного газа либо полное замещение последнего H<sub>2</sub> (системы «Power-to-Gas»/«Power-to-Gas-to-Power»).

Структура потребления водорода по отраслям представлена на рис. 1.



Рис. 1. Структура потребления водорода по отраслям

В исследованиях использовалась фотогальваническая солнечная электростанция мощностью 2 кВт производства Canadian Solar в Государственном энергетическом институте Туркменистана для производства водорода.

Эта фотоэлектрическая солнечная электростанция включает в себя 16 солнечных панелей мощностью 130 Вт, 8 аккумуляторов, контроллеры и инвертор с номинальным током 200 А/ч.

На основании измерений было установлено, что 4 солнечные панели производят 2800–2900 Вт · ч энергии в сутки в летний период.

Солнечная электростанция мощностью 2 кВт в сутки способна вырабатывать 11200–11600 Вт · ч или 11,2–11,6 Вт · ч электроэнергии в сутки [1].

В модели солнечно-водородной энергетической системы использовался метод электролиза для разделения воды на водород и кислород. Расчетным путем определено, что около 610 г или 6778 л водорода и 4880 г или 3320 л кислорода могут быть получены за счет энергии, вырабатываемой за 6 ч фотоэлектрической солнечной электростанцией мощностью в 2 кВт.

В состав системы также входит система водяного охлаждения за счет создания давления обратного осмоса. В результате исследований был разработан экспериментальный проект солнечно-водородно-водяной многосторонней системы (рис. 2).

Вольт-амперную характеристику электрической цепи солнечного элемента можно выразить следующим упрощенным уравнением:

$$I = I_1 - I_0 \exp \left[ \frac{q(V - IR_{\text{сис}})}{AKT} \right],$$

где  $I$  – ток, протекающий по цепи, А;  $I_1$  – сила тока, полученная в зависимости от солнечного излучения, А;  $I_0$  – плотность тока насыщения, А;  $q$  – электрический заряд ( $1,602 \cdot 10^{-19}$  Кл);  $R_{\text{сис}}$  – сопротивление системы, Ом;  $V$  – напряжение цепи, В;  $A$  – площадь поверхности клетки, подвергаемой солнечному излучению, м<sup>2</sup>;  $K$  – постоянная Больцмана ( $1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К);  $T$  – температура, К.

Выходная мощность солнечной панели:

$$P_{\text{вых}} = IV.$$

Кроме того, максимальная выходная мощность составляет:

$$P_{\text{макс}} = (IV)_{\text{макс}} = V_{\text{ХХ}} I_{\text{КЗ}} K_1,$$

где  $V_{\text{ХХ}}$  – напряжение холостого хода, В;  $I_{\text{КЗ}}$  – ток короткого замыкания, А;  $K_1$  – коэффициент заполнения.

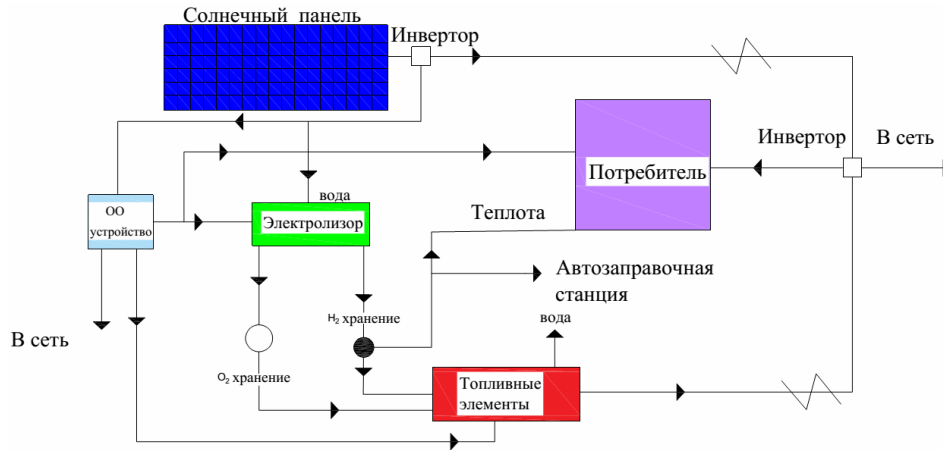


Рис. 2. Экспериментальный проект солнечно-водородно-водяной многосторонней системы

При электролизе в нескольких ячейках общее количество водорода можно выразить следующим уравнением:

$$\dot{n}_{\text{H}_2} = \eta_{\text{Ф}} (n_{\text{я}} I / nF),$$

где  $\eta_{\text{Ф}}$  – эффективность Фарадея;  $n_{\text{я}}$  – число ячеек;  $n$  – число электронов в молярном количестве воды;  $F$  – эффективность Фарадея (96500 Дж/моль).

Расход воды, необходимый для производства водорода и кислорода в системе, равен  $\dot{n}_{\text{H}_2\text{O}}$ , который можно найти из уравнения  $\dot{n}_{\text{H}_2\text{O}} = \dot{n}_{\text{H}_2} = 2\dot{n}_{\text{O}_2}$ . Энергоэффективность можно определить по следующему уравнению:

$$\eta_{\text{я}} = U_m / U,$$

где  $U_m$  – термонеutralное напряжение, В;  $U$  – напряжение на ячейке, В [2].

Общий энергетический баланс электролизера определяется следующим образом:

$$Q_{\text{об}} = Q_n + Q_o + Q_{\text{ох}} + \sum_i \dot{h}_i \dot{m}_i,$$

где

$$Q_{\text{об}} = n_{\text{я}} (U - U_m) I = n_{\text{я}} UI [1 - (U_m / U)] = n_{\text{я}} UI (1 - \eta_{\text{я}}).$$

Здесь  $Q_n$  – полученная тепловая энергия и ее значение:  $Q_n = C_t (dT / dt)$ ;  $Q_o$  – тепло, отдаваемое окружающей среде, и его значение:  $Q_o = 1 / R_{\text{mc}} [T - T_{\text{о.с}}]$ ;  $Q_{\text{ох}}$  – вспомогательное охлаждение и его значение:  $Q_{\text{ох}} = C_{\text{о.в}} (T_1 - T_2)$ , где  $C_t$  – теплоемкость электролита, Дж/К;  $T$  – температура электролита, К;  $R_{\text{mc}}$  – полное тепловое сопротивление, Дж/К;  $T_{\text{о.с}}$  – температура окружающей среды, К;  $C_{\text{о.в}}$  – теплоемкость охлаждающей воды, Дж/К;  $T_1, T_2$  – температура охлаждающей воды на входе и выходе, К [3].

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Определено перспективное использование солнечной энергии в производстве водорода.

2. Разработан экспериментальный проект фотоэлектрической солнечной электростанции для разработки модели многосторонней солнечно-водородно-водяной системы.

3. Путем разработки модели многосторонней солнечно-водородно-водяной системы выявлена возможность обеспечения чистой электроэнергией, топливом и пресной водой небольших хозяйств вдали от центральной системы электроснабжения.

#### Л и т е р а т у р а

1. Джумаев, А. Научно-технический и методологический анализ ресурсов и развития солнечной энергетики в Туркменистане / А. Джумаев. – Ашхабад, 2016.
2. Эль-Шаттер, Тн. Ф. Проектирование и моделирование системы гибридных фотоэлектрических топливных элементов / Тн. Ф. Эль-Шаттер, М. Н. Эскандер, М. Т. Эль-Хагри // Возобновляемая энергия. – 2002. – № 27. – С. 479–485.

## ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМБИНИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

**П. Оразмаммедов**

*Государственный энергетический институт Туркменистана, г. Мары*

Научный руководитель канд. техн. наук К. А. Сарыев

Климатические и географические условия Туркменистана позволяют внедрять возобновляемые источники энергии в энергосистему страны, это особенно поможет улучшить энергообеспечение сельского населения и территорий, удаленных от культурной зоны, и уменьшить выбросы парниковых газов.

Потенциал солнечной энергетики оценивается в  $40 \cdot 10^9$  кДж или  $1,4 \cdot 10^9$  у. т. в год. Средняя продолжительность солнечного излучения в Туркменистане составляет 2768–3081 ч в год. Возможности солнечной энергетики оцениваются в 1,4 млрд т у. т. в год. Продолжительность солнечного дня в июне – 16 ч, а в декабре – 8–10 ч. Использование солнечной энергии является одним из наиболее перспективных направлений с точки зрения ее использования. В Туркменистане около 300 солнечных дней в году. В самый солнечный месяц года – июль – количество солнечной энергии, падающей на  $1 \text{ м}^2$  горизонтальной поверхности, колеблется от 6,4 до 7,5 кВт в сутки. В Туркменистане расчетным путем определено, что среднегодовая интенсивность солнечного излучения, падающего на солнечные панели, установленные под оптимальным углом относительно горизонтальной плоскости, колеблется от  $1819,882 \text{ кВтч/м}^2$  в год (г. Балканабат) до  $1897,407 \text{ кВтч/м}^2$  в год (г. Мары) [1]–[3]. Сегодня солнечная энергия широко используется для электроснабжения крупных городов, предприятий и объектов мелкого потребления вдали от центральной системы электроснабжения.

В результате исследования проведен сезонный анализ работы введенных в строй в Туркменистане газотурбинных электростанций и изучено влияние внешних погодных условий на энергетические параметры станции и выработку электроэнергии. В результате для экономии энергии и повышения энергоэффективности предлагается целесообразный проект комбинированной работы фотоэлектрических солнечных электростанций с газотурбинными электростанциями. В рамках экспериментального проекта было установлено, что в сезонном режиме работы газотурбинной электриче-