

УДК 661.931

РАСЧЁТ ЭКСЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ
EXPERIMENTAL ELECTROLYTIC UNIT EXERGY EFFICIENCY
CALCULATION

М.Б. Макеева, П.А. Перехвал
Научный руководитель – В.В. Янчук, ассистент
Белорусский национальный технический университет, г. Минск,
M. Makeeva, P. Perekhval
Supervisor – V. Yanchuk, assistant professor
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: Эксергетический анализ дополняет энергетический в оценке эффективности преобразования энергии в различных системах. В работе рассчитан эксергетический КПД системы преобразования солнечного излучения в водород, дан анализ влияющих факторов.

Abstract: Exergy analysis is added to energy analysis in various systems efficiency assessment. Exergy efficiency of converting solar irradiation into hydrogen is calculated in the paper, and analysis of affecting factors is given.

Ключевые слова: Эксергия, энергия, электролизер, эксергетический анализ, энергетический анализ, водород.

Keywords: Exergy, energy, electrolyzer, exergy analysis, energy analysis, hydrogen.

Введение

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) – ключевая технология для достижения декарбонизации к 2050 году. Парижское климатическое соглашение направлено на удержание роста средней глобальной температуры «ниже 2 °С» в этом веке по сравнению с доиндустриальным уровнем. Достижение этой цели потребует существенного сокращения выбросов во всех секторах.

Водород успешно используется в разных отраслях и секторах уже много лет. В последние годы разрабатываются технологии для его использования в системах аккумулирования энергии. Самый экологически нейтральный метод получения водорода – разложение воды путем электролиза. Из различных методов разложения воды (электрохимический, термический, термохимический, биохимический, фотохимический и др.) технически наиболее разработан электролитический метод, который позволяет производить водород с полезным использованием затрачиваемой электрической энергии примерно 70%. При дальнейшем усовершенствовании процесса теоретически возможно увеличение этого показателя до 80%, а при высокотемпературном электролизе и до 80–90%.

Для теплотехнологических процессов в дополнение к обычной оценке энергопотребления совершенно необходима количественная оценка качества процесса энергоиспользования, его термодинамической эффективности. Эту принципиально новую оценку наиболее просто можно провести на основе понятия эксергии.

Эксергия — свойство термодинамической системы или потока энергии, определяемое (характеризуемое) количеством работы, которое может быть получено внешним приемником энергии при обратимом их взаимодействии с окружающей средой до установления полного равновесия.

Далее кратко приведен порядок расчета эксергетического КПД и основные результаты. Исследуемая система производства водорода состоит из фотоэлектрической панели и лабораторного электролизера. Показатели работы фотоэлектрической панели рассчитаны для условий города Минска, характеристики электролитической установки получены в ходе экспериментов на оборудовании ЭкоТехноПарка «Волма».

Основная часть

Для проведения эксергетического анализа солнечной панели необходимо вначале рассчитать температуру ее поверхности. Для этого составлен тепловой баланс панели:

$$E_{\text{погл}} = Q_{\text{ос}} + W, \quad (1)$$

где $E_{\text{погл}}$ — энергия, поглощаемая солнечной панелью, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$;

$Q_{\text{ос}}$ — плотность теплового потока, отдаваемого панелью в окружающую среду, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$;

W — электроэнергия, вырабатываемая солнечной панелью с одного м² панели, Вт.

В процессе расчета найдены температуры поверхности панели, средние для каждого месяца. Результаты представлены на рисунке 1:

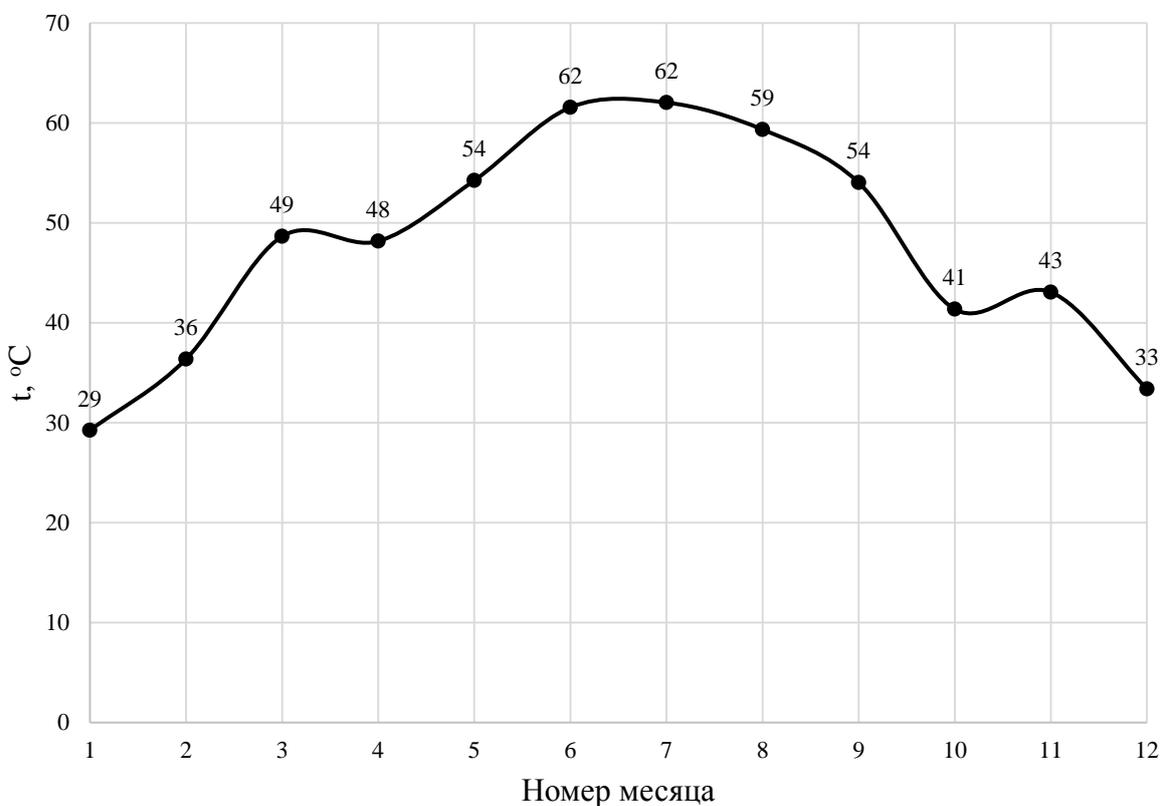


Рисунок 1 – Расчётная температура поверхности солнечной панели по месяцам

Расчет эксергетического КПД солнечной панели.

Эксергия поглощаемого панелью излучения:

$$e_{и} = \varepsilon_c C_0 (3T^4 + T_0^4 - 4T_0T^3), \quad (2)$$

где ε_c – степень черноты излучающей поверхности, для солнца равна 1;

C_0 – постоянная Стефана-Больцмана, равная $5,67 \cdot 10^{-8}$, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$.

Поскольку эксергия электроэнергии численно равна энергии, то эксергетический КПД солнечной панели определим по формуле:

$$\eta_{э} = \frac{W_{1\text{м}^2}}{e_{и}}, \quad (3)$$

где $W_{1\text{м}^2}$ – мощность, получаемая с 1 м^2 панели, Вт.

Результаты расчета эксергетического КПД солнечной панели среднего для каждого месяца, а также среднемесячные температуры окружающей среды представлены на рисунке 2.

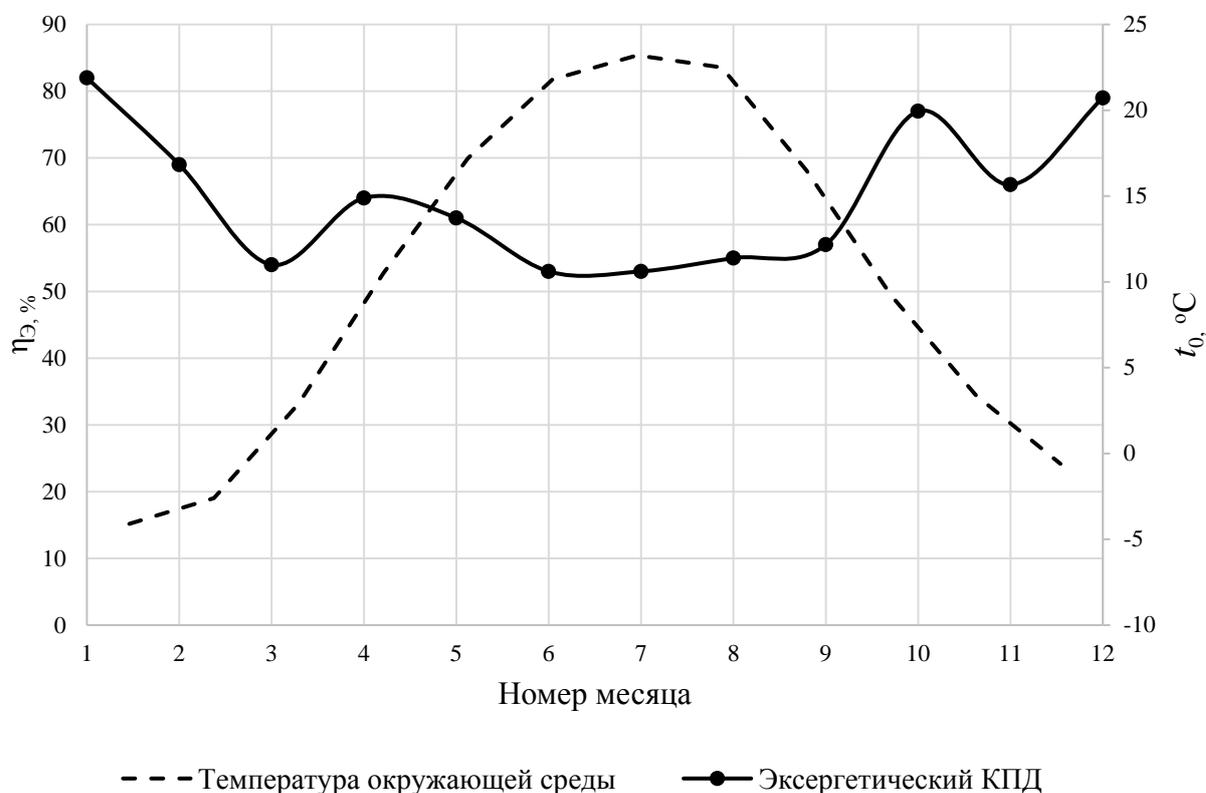


Рисунок 2 – Влияние температуры окружающей среды на эксергетический КПД солнечной панели по месяцам

На рисунке 2 видно, что эксергетический КПД наиболее низкий в самые солнечные месяцы, в том числе и в июне $\eta_{э} = 53 \%$, в то время как в менее солнечные месяцы достигается наибольший КПД. Это объясняется тем, что в наименее солнечные месяцы параметры окружающей среды наиболее низкие, поэтому получаемая энергия является более ценной, чем в летние (жаркие) месяцы.

Определение эксергетического КПД электролизера:

$$\eta_e = \frac{E_{O_2} + E_{H_2}}{W_{полн} + E_{H_2O}}, \quad (4)$$

где E_{O_2} – эксергия выделяемого кислорода.

E_{H_2} – эксергия выделяемого водорода.

E_{H_2O} – эксергия приходящей воды.

$W_{полн}$ – полная мощность.

Эксергетический КПД электролизера получен 23,7% для работы установки в номинальном режиме. Изобразим диаграмму Грассмана для электролизера, рисунок 3.

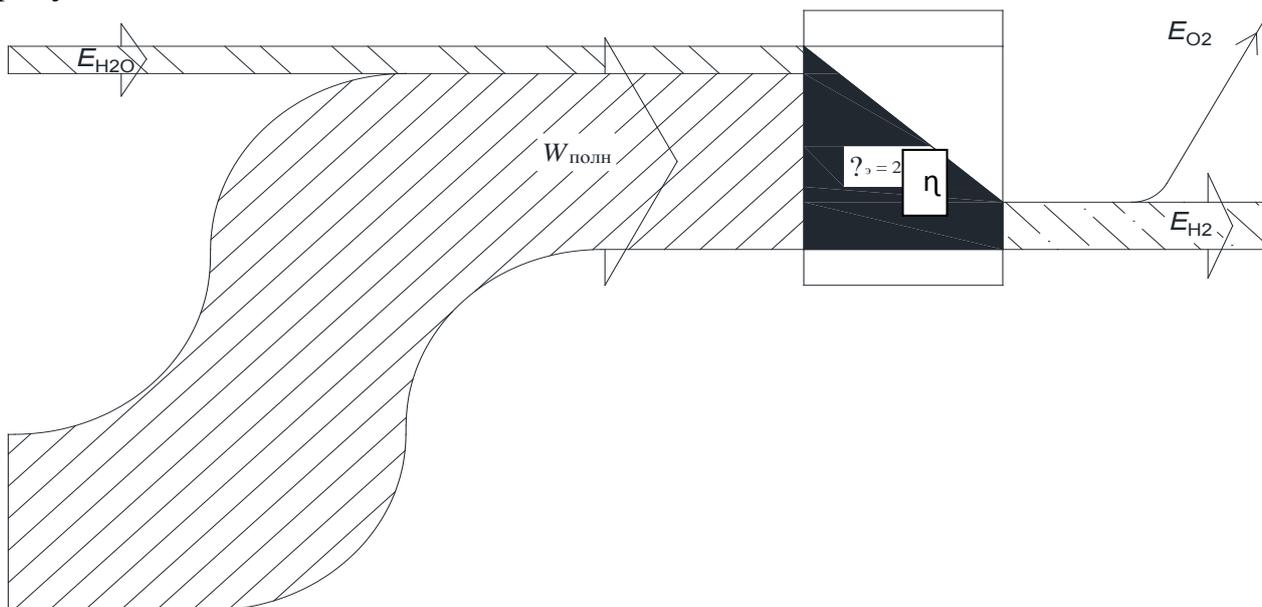


Рисунок 3 – Диаграмма потоков Грассмана

Таким образом, потери эксергии в процессе преобразования электрической энергии в химическую (в виде водорода) составляют более трех четвертей от входящего потока.

Эксергетический КПД электролитической установки с генерацией электроэнергии на солнечной панели для каждого месяца рассчитывается:

$$\eta_{экс} = \eta_c \eta_{эл}. \quad (5)$$

где η_c – эксергетический КПД солнечной панели;

$\eta_{эл}$ – эксергетический КПД электролизёра.

Эксергетический КПД электролитической установки с генерацией электроэнергии на солнечной панели для июня:

$$\eta_{экс} = 0,53 \cdot 0,237 = 0,124.$$

Заключение

В результате получен эксергетический КПД преобразования солнечного излучения в водород, и он составляет 12,4% для июня. То есть, стоит продолжать работать над совершенствованием каждого из элементов данной системы, а также над другими способами получения водорода из воды за счет излучения, возможно исключить промежуточное преобразование. Так, например, в

последнее время разрабатывается метод прямого расщепления воды под действие солнечного излучения – фотокаталитический метод получения водорода [1].

Литература

1. Макеева М.Б. Фотокаталитический метод получения водорода = Photocatalytic hydrogen production method / М.Б. Макеева, П.А. Перехвал; науч. Рук. В.В. Янчук // Актуальные проблемы энергетики [Электронный ресурс]: материалы 77-й научно-технической конференции студентов и аспирантов, апрель 2021 г. / редкол.: Е.Г. Пономаренко [и др.]; сост. Т.Е. Жуковская. – Минск; БНТУ, 2021. – С. 119-122.