

## ЛИТЕРАТУРА

1. Концепции энергетической безопасности Республики Беларусь (Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 23.12.2015 г. № 1084). – Минск, 2015. – 13 с.
2. Государственная программа «Энергосбережение» на 2016-2020 гг. (Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 28.03.2016 г. № 248). – Минск, 2016. – 54 с.
3. Домненкова, А. В. Использование возобновляемых источников энергии в Республике Беларусь / А. В. Домненкова, С. В. Киселев, В. Н. Босак // Система управления экологической безопасностью: сб. тр. XII заоч. междунар. науч.-практ. конф. (Екатеринбург, 30–31 мая 2018 г.). – Екатеринбург: УрФУ, 2018. – С. 161–164.
4. Баталова, А. А. Альтернативная энергетика в России / А. А. Баталова, Н. В. Дукмасова, Л. М. Теслюк, М. Е. Шевченко // Система управления экологической безопасностью: сборник трудов XII заоч. междунар. науч.-практ. конф. (Екатеринбург, 30–31 мая 2018 г.). – Екатеринбург: УрФУ, 2018. – С. 151–155.
5. Пудовикова, А. И. Переход России на альтернативные источники энергии России / А. И. Пудовикова, А. А. Разживина, М. В. Березюк // Система управления экологической безопасностью: сб. тр. XII заочной междунар. науч.-практ. конф. (Екатеринбург, 30–31 мая 2018 г.). – Екатеринбург: УрФУ, 2018. – С. 183–188.

## ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ КАК ОБЪЕКТ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ, ПРИНАДЛЕЖАЩИЙ ПОТРЕБИТЕЛЮ ЭНЕРГИИ PHOTOVOLTAIC STATION AS AN OBJECT OF DISTRIBUTED GENERATION OWNED BY THE TO A CONSUMER OF ENERGY

**Е. П. Забелло, А. С. Качалко**  
**E. Zabello, A. Kachalko**

*Белорусский государственный аграрный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
rektorat@bsatu.by  
Belarusian State Technical University, Minsk, Republic of Belarus*

Рассмотрена фотоэлектрическая станция (ФЭС) как объект распределенной генерации, учитывая, что ФЭС могут быть построены на любых свободных площадках (в том числе крышах зданий и сооружений), иметь любую мощность – от единиц до сотен тысяч киловатт и, кроме того, они могут работать как независимые энергоисточники, так и источники генерации в составе единой энергосистемы, будучи максимально приближенными к потребителям энергии. Разработана блок-схема алгоритма управления ФЭС в суточном цикле рабочего дня совместно с накопителем энергии.

A photovoltaic station (FES) was considered as an object of distributed generation, given that FES can be built on any free sites (including roofs of buildings and structures), have any power, from units to hundreds of thousands of kilowatts and in addition, they can work as independent energy sources and sources of generation in the composition of the unified energy system, being as close as possible to energy consumers. A flowchart of the FES control algorithm in the daily cycle of the working day together with the energy storage unit has been developed.

*Ключевые слова:* фотоэлектрическая станция, распределенная генерация, накопители энергии, режимы.

*Keywords:* photovoltaic station, distributed generation, energy storage, modes.

По расчетам Департамента по энергоэффективности Госстандарта Республики Беларусь, годовая выработка электроэнергии ФЭС установленной мощностью 60 МВт составит порядка 68,7 млн кВт/ч в год [1], по информации ЗАО «Белзарубежстрой» и БЕЛТА [2], на сооружение ФЭС мощностью 109 МВт в Чериковском РЭС сумма инвестиций равна 170 млн.дол, ФЭС мощностью 22 кВт, по данным [3], в течение года выработало 21,1 тыс. кВт/ч, на ФЭС мощностью 3,75 Мвт производственного объединения «Белоруснефть» выработка составила 3,88 млн кВт/ч [4].

На основании приведенных данных составлена табл. 1, согласно которой можно заключить, что удельные затраты (Зуд) на единицу мощности ФЭС, рассчитанные для СЭС4 и принятые одинаковыми для других СЭС в связи с отсутствием информации, составляют величину, соизмеримую с величиной аналогичного показателя для базовых ГРЭС и ТЭЦ и в 3 раза ниже, чем для АЭС. Однако учитывая, что число часов работы ФЭС в течение года намного ниже, чем у ГРЭС, ТЭЦ и АЭС, ее технико-экономические показатели, определяемые с использованием коэффициента загрузки  $K_z$  (табл.), хотя и конкуренты с источниками централизованного электроснабжения, однако не во всех случаях.

Таблица 1 – Фактические и расчетные показатели работы ФЭС различных величин мощности в Республике Беларусь

№СЭС	P, МВт	Wгод, млн кВт·ч	Z, млн.дол.	Zуд, тыс.дол/кВт	Kз
СЭС-1	0,022	0,021	0,034	1,56	0,11
СЭС-2	3,75	3,88	5,8	1,56	0,13
СЭС-3	60	68,7	93,6	1,56	0,13
СЭС-4	109	124,5	170	1,56	0,13

На объем генерации энергии ФЭС основное влияние оказывает долгота дня, высота солнца над горизонтом и погодные условия, носящие вероятностный характер. В табл. 2 приведены данные по долготе дня для всех месяцев года и взятые из [3] объёмы генерации ФЭС мощностью 22 кВт, на основании которых можно сделать следующие выводы:

– отношение максимального значения долготы дня к минимальному в течении года составляет величину  $17,08:7,43 = 2,3$ ;

– отношение максимального месячного объема генерации энергии к минимальному равно  $94,2:11,5 = 8,2$ .

Таблица 2 – Долгота дня по месяцам года и суточная выработка энергии на ФЭС мощностью 22 кВт

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Объем генерации кВт·ч	17	31,1	66,7	86,5	92,7	94,2	90,1	84	65,8	37,2	16	11,5
Долгота дня, часов	7,57	9,47	11,47	14,00	15,56	17,08	16,37	14,54	12,45	10,37	8,36	7,43

Как следует из приведенных расчетных значений, основное влияние на объем генерации энергии модулями ФЭС оказывает высота солнца над горизонтом, максимум которой приходится на июнь месяц.

Так как положение зеркал ФЭС в зенитальной и азимутальной плоскости не меняется, то экономическая эффективность ее работы существенно снижается, в связи с чем рассмотрим возможность повышения этой эффективности за счет использования гибкой системы тарифов на электроэнергию. Согласно этой системе, ночной тариф обычно в 2–3 раза ниже тарифа пиковой зоны (утренние и вечерние часы) и в полтора раза ниже тарифа полупиковой зоны (середина дня). Учитывая, что модули ФЭС наиболее эффективно работают в середине дня на всём протяжении года, а утренние и вечерние зоны пиковых нагрузок энергосистемы в большинстве месяцев года также совпадают по времени с часами работы ФЭС, то наиболее выгодно использовать ФЭС той группы потребителей, которая применяет сложные тарифы и прежде всего – многоставочные. Для рассмотрения наиболее экономичного режима работы модуля ФЭС в цикле рабочего дня рассмотрим блок-схему, приведенную на рис. 1.

Согласно блок-схеме для управления режимом работы ФЭС, установлено 2 коммутационных аппарата КА1 – общий на вводе к потребителю энергии и КА2 – на вводе к накопителю энергии 1, наличие которого позволяет использовать генерируемую ФЭС энергию для зарядки накопителя перед вторым циклом его работы – в вечерний пик нагрузки, когда удельная стоимость электроэнергии наибольшая. Как видно из блок-схемы, отключение КА2 производится при полной зарядке накопителя в середине дня, отключение КА1 – в период, когда генерируемая модулем ФЭС мощность имеет минимальную, обусловленную заранее величиной.

На примере СЭС-2 (табл. 1) рассмотрим вариант ее работы с накопителем и без накопителя энергии (НЭ) по алгоритму, приведенному в блок-схеме на рис. 1, и рассчитаем некоторые составляющие эффективности принятых режимов. В табл. 3 сопоставлены данные по трём вариантам энергоисточников: энергосистеме (вариант 1), энергосистеме и ФЭС (вариант 2), энергосистеме, ФЭС и НЭ (вариант 3).

Как следует из таблицы, объёмы электропотребления  $W_i$  распределены по трем зонам суток в соответствии с трехзонным тарифом, а плата за электропотребление  $Z_i$  рассчитана на основании следующих их величин по зонам: ночной ( $T_n = 0,2$  руб/кВт·ч), полупиковой ( $T_{пп} = 0,4$  руб/кВт·ч) и пиковой ( $T_p = 0,6$  руб/кВт·ч).

Расчетные формулы, таким образом, имеют следующий вид:

$$W_{\Sigma} = \sum_i W_i, \quad (1)$$

$$Z_{\Sigma} = \sum_i Z_i = W_n \cdot T_n + W_{пп} \cdot T_{пп} + W_p \cdot T_p,$$

$$\bar{T} = \frac{W_{\Sigma}}{Z_{\Sigma}}. \quad (2)$$



$$\overline{T}_1 = \frac{3,256}{7,3} = 0,445 \text{ руб/кВт}\cdot\text{ч}$$

$$\overline{T}_2 = \frac{1,356}{3,42} = 0,395 \text{ руб/кВт}\cdot\text{ч}$$

$$\overline{T}_3 = \frac{1,268}{3,42} = 0,37 \text{ руб/кВт}\cdot\text{ч}$$

Подобные значения средних тарифов на покупку электроэнергии от ЭС и ряд других, хотя пока и ориентировочных данных могут послужить для более достоверных обоснований развития распределенной генерацией с применением ФЭС по мере увеличения объема ее развития и получения достоверных фактических данных как стоимостных, так и технико-экономических показателей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Малащенко, М. П. О перспективах использования возобновляемых источников энергии с учетом ввода в эксплуатацию Белорусской АЭС / М. П. Малащенко // Энергоэффективность. – 2019. – № 1. – С. 2–4.
2. Крупнейшая в Беларуси солнечная электростанция появится в Чериковском районе. По информации ЗАО «Белзарубежстрой» и БЕЛТА // Энергоэффективность. – 2019. – № 1. – с. 11.
3. URL: <http://inaleks.by/need-to-know/what-is-net-worked-solar-power-station.html> (дата обращения 23.02.2019).
4. Миненков, А. Курс – на использование возобновляемых источников энергии / А. Миненков, А. Котик // Энергоэффективность. – 2016. – № 6. – С. 11.

### ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕРВАЛЬНО-ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫХ ТАРИФОВ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ЭНЕРГИЮ ПРИ КОСВЕННОМ УПРАВЛЕНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ НАГРУЗКАМИ

### APPLICATION OF INTERVAL-DIFFERENTIATED TARIFFS ON ELECTRIC ENERGY AT INDIRECT ELECTRIC LOAD MANAGEMENT

***Е. П. Забелло, В. Л. Петрович,  
E. Zabello, V. Petrovich***

*Белорусский государственный аграрный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
rektorat@bsatu.by  
Belarusian State Technical University, Minsk, Republic of Belarus*

Любое совершенствование тарифа на электрическую энергию связано с необходимостью иметь оперативную и достоверную информацию об электропотреблении, получение которой возможно с применением автоматизированных информационно-измерительных систем учета и контроля электроэнергии. С помощью таких систем возможно получение суточных графиков нагрузок любого потребителя, а на основе этих графиков и с учетом средств измерений, установленных в питающих и распределительных сетях, получение и суточного графика нагрузок энергосистемы. Анализ подобных суточных графиков показывает, что тенденция роста их неравномерности сохраняется, поэтому снижение пиковых нагрузок на контрольных интервалах (утренние, вечерние часы) остается острой проблемой и на ближайшую перспективу.

Any improvement in the electricity tariff is associated with the need to have prompt and reliable information on electricity consumption, which can be obtained using automated information and measurement systems for metering and control of electricity. With the help of such systems it is possible to obtain daily load schedules of any consumer, and on the basis of these schedules and taking into account the measuring instruments installed in the supply and distribution networks, obtaining and daily schedule loads of the power system. Analysis of such daily graphs shows that the trend of growth of their unevenness persists, and therefore the reduction of peak loads at the control intervals (morning, evening hours) remains an acute problem for the near future.

*Ключевые слова:* электрическая энергия, график нагрузок, средства измерения, тариф.

*Keywords:* electrical energy, load schedule, measuring instruments, tariff.