

УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМОЙ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ*

Аганияз Джумаев,
*проректор по научной работе
Государственного энергетического института
Туркменистана, кандидат физико-математических наук,*

Эсгер Атаев,
*старший научный сотрудник
Государственного энергетического института Туркменистана*

Аннотация

Для достижения надежной работы комплексной системы энергоснабжения одной из важных задач является управление техническими средствами и комплексной системой энергоснабжения, а также требуется решения некоторых задач. В статье рассматривается методология определения ресурсов возобновляемых источников энергии в конкретном населенном пункте, создания нормативно-правовых основ развития возобновляемой энергетики, разработки и расчета проектов фотоэлектрических солнечных станций. Кроме того предлагаются некоторые пилотные проекты.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, фотоэлектрические солнечные станции, кадастр солнечной энергии, ресурсы солнечной энергии, мощность, электрическая нагрузка.

Введение

Энергоснабжение на базе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) экологически более чисто и безопасно, а также чище в процессе производства. Фотоэлектрические солнечные станции (ФСС) могут быть использованы для производства не только большого количества энергии постоянного тока, но и для энергоснабжения небольшого цеха, жилого дома или небольшого предприятия.

В статье приведена общая схема электроснабжения с применением ФСС, выполнены соответствующие расчеты, и, самое главное, это может быть не столько заменой существующей системе энергоснабжения, сколько для защиты окружающей среды.

Управление техническими средствами комплексной системой энергоснабжения требует рассмотрения следующих вопросов:

- ресурсы возобновляемых источников энергии на рассматриваемой территории;
- создание нормативно-правовой базы для развития возобновляемой энергетики;
- методика проектирования и расчета ФСС;
- пилотные проекты ФСС.

В настоящее время современное состояние энергетики и необходимость разработки новых энергетических технологий, позволяющих повысить энергообеспеченность производства, минимизировать воздействие на окружающую среду, развить малые и средние хозяйства и предприятия, нуждающиеся в автономных энергоисточниках, способствовало выделению ВИЭ в отдельное направление науки и техники. На территории Туркменистана в качестве таких энергоресурсов наиболее актуально рассматривать использование солнечной энергии.

* Джумаев А.Я. e-mail: a.jumayev.tm@gmail.com

Методика исследований

Было проведено районирование по средним данным суммарной солнечной энергии, поступающей на поверхность оптимально ориентированной солнечной панели на территории страны для административных районов Туркменистана. В расчетах угол наклона солнечной панели, ориентированной на юг, равен $\beta = 36^\circ$. Пространственное распределение годовых величин суммарной солнечной энергии (выраженные в кВт·ч/м²) для любого региона Туркменистана представлено на соответствующей карте, т.е. в кадастре солнечной энергии. Согласно кадастру в территории Туркменистана выделяются 5 зон с соответствующим распределением годовых величин суммарной солнечной энергии, т.е. I-зона с 1870-2000 кВт·ч/м² год, II-зона с 1850-1870 кВт·ч/м² год, III-зона с 1800-1850 кВт·ч/м² год, IV-зона с 1750-1800 кВт·ч/м² год, V-зона с 1630-1750 кВт·ч/м² год (Jumayev, 2022).

В Туркменистане создана нормативно-правовая база для развития возобновляемой энергетики. Основные мероприятия по снижению выбросов CO₂ в Туркменистане будут реализованы согласно утвержденной Постановлением Президента Туркменистана Национальной стратегии Туркменистана по изменению климата (Национальная стратегия Туркменистана), Национальной стратегии по развитию возобновляемой энергетики до 2030 года (Национальная стратегия) и закона Туркменистана «О возобновляемых источниках энергии» (Закон Туркменистана).

Прогнозирование и управление выработки энергии сетевой или автономной ФСС на основании расчетов и измерений является наряду с учетом капитальных затрат одной из важнейших составляющих оценки экономической целесообразности строительства ФСС. Используемые нами этапы проектирования и методика расчета приведены в таблице 1.

Таблица 1

Этапы проектирования и методика расчета

Этапы проектирования	Расчетная формула	Принятые параметры
1-ый этап – расчет вых. мощности ФСС	$P_{oc,i} = \frac{P_{H,i}}{\eta_i}, \quad P_{H,j} = \sum_{i=1}^N P_{oc,i},$ $P_H = \max\{P_{H,j}\}, \quad \forall j \in \overline{1, M}$	$\eta_i=0,8;$ $\eta_i=1,0;$ $\Delta t_{\text{лет}} = 14\text{ч}$ (с 6.00 до 20.00) – лето, $\Delta t_{\text{зим}} = 8\text{ч}$ (с 8.00 до 16.00) – зима
2-ой этап – расчет емкости аккумулятора	$\Delta C = \frac{P_H}{U_H} \Delta t_{HB} = \frac{P_H}{U_H} (24 - \Delta t_{\text{нв}}),$ $S_p = \frac{C_H - C_{\min}}{C_H} 100\% = \frac{\Delta C}{C_H} 100\%,$ $C_H = \frac{100}{S_p} \frac{P_H}{U_H} \Delta t, \quad I_p = \frac{P_H}{U_H},$ $W = C_H U_H, \quad n = \frac{U_H}{U_{ab}}, \quad m = \frac{C_H}{C_{ab}},$ $N = nm, \quad N = \frac{100}{S_p} \frac{P_H}{W_{ab}},$	$\Delta t_{HB} = 10\text{ч}$ – лето, $\Delta t_{HB} = 16\text{ч}$ – зима, $S_p = 70\%,$

	$W_{ab} = C_{ab} U_{ab}, \quad U_H = \frac{100}{S_p} \frac{P_H}{mC_{al}} \Delta t_{HB},$ $\Delta C_1 = \frac{P_{H1}}{U_H} \Delta t_1, \quad \Delta C_2 = \frac{P_{H2}}{U_H} \Delta t_2,$ $\Delta C = \Delta C_1 + \Delta C_2,$ $C_H = \frac{100}{S_p U_H} (P_{H1} \Delta t_1 + P_{H2} \Delta t_2).$	
3-ий этап – расчет мощн. зарядного устройства	$P_{zy} = n I_{\max. \text{зар.}} U_{\max. \text{зар.}} = 1.375 n I_{\max. \text{зар.}} U_{ab}.$	1. Заряд при постоянстве тока производится током, значение которого равно 10% от номинальной емкости при 20 часовом режиме заряде. Максимальное значение зарядного тока составляет от 0,2 до 0,3 емкости аккумулятора. 2. При заряде при постоянстве напряжения степень заряженности аккумуляторной батареи по окончании заряда напрямую зависит от значения зарядного напряжения. 24 ч. непрерывного заряда при напряжении 14,4 В полностью разряженная 12 –вольтовая батарея зарядиться на 75-85%. При напряжении 15 В – на 85-90%, а при напряжении 16 В – на 95-97%. Полностью зарядить разряженную батарею в течении 20-24 ч. можно при напряжении 16,3-16,4 В. $U_{ab} = 12\text{В}, I_{\max. \text{зар.}} = 0,2\text{С/1ч}, U_{\max. \text{зар.}} = 16,5\text{В}.$
4-ый этап – расчет мощн. основной шины	$P_{>H} = P_H + \frac{P_{7C}}{\eta_2}$	η_1 – КПД импульсного преобразователя постоянного напряжения понижающего типа. η_2 – КПД зарядного устройства.
5-ый этап – расчет мощн. солнечной батареи	$P_{Al} = \frac{P_{oH}}{\eta_1} = \frac{P_H}{\eta_1} + \frac{P_{7C}}{\eta_1 \eta_2},$ $W = k E P_w / 1000$	$k=0,5$ – лето, $k=0,7$ – зима.
6-ой этап – расчет КПД автономн.солн. станц.	$\eta = \frac{P_H}{P_{Al}} = \frac{P_H \eta_1 \eta_2}{P_H \eta_2 + P_{7C}}$	
7-ой этап – выбор автономного инвертора	Вся суммарная нагрузка приборов, подключаемых к инвертору, увеличивают, как минимум, на 30%	

Результаты исследований

В результате научно-экспериментальных исследований, проведенных научными сотрудниками научно-производственного центра «Возобновляемые источники энергии»

Государственного энергетического института Туркменистана, определены эффективные области применения разных видов фотоэлектрических солнечных станций в области возобновляемой энергетики, оптимальные режимы их эксплуатации. На их основе разработаны пилотные проекты промышленных солнечных станций. В качестве примера рассмотрим пилотные проекты промышленных солнечных станций с мощностями 50 МВт и 8 МВт (Jumayev, Atayev, 2022). ФСС с мощностью 8 МВт расположенная в Балканском велае в среднем в течение года будет вырабатывать 12,846 млн. кВт·ч энергии и ФСС мощностью 50 МВт, расположенная в Марыйском велае в среднем в течение года будет вырабатывать 90,934 млн. кВт·ч энергии.

Известно, что солнечные электрические станции эффективно использоваться сегодня в системах энергоснабжения по трем основным «сценариям»:

1. работа в большой энергосистеме (on grid);
2. работа в локальной энергосистеме (off grid);
3. работа на локального или автономного потребителя (off grid).

Пилотные проекты промышленных солнечных станций с мощностями 50 МВт и 8 МВт разработаны для солнечных панелей мощностью 250 Вт. Основные технические параметры фотоэлектрической станции с различными мощностями, работающей в большой энергосистеме (off grid), показаны в таблице 2.

Сетевое строительство на территории Туркменистана в ближайшее время будет производиться в рамках реализации Национальной стратегии и крупных инвестиционных объектов и в интересах экспорта электроэнергии. На бытовых потребителей данные мероприятия существенного влияния не окажут (тарифы на электроэнергию не меняются). Рассмотрим возможность размещения ФСС в удаленных районах от центральной системы энергоснабжения, первоначально для варианта установки ФСС в частном сельском доме. При проектировании автономной ФСС сначала нужно составить список всех потребителей электроэнергии, выяснить их потребляемую мощность, напряжение и внести в список (таб. 3 и таб. 4). Последовательность суточного изменения электрической нагрузки для жилого дома, расположенного в сельской местности, для летнего и зимнего времени суток показаны соответственно на рисунках 1 и 2. Согласно первому этапу проектирования максимальная нагрузка в течение суток равна $P_{\max} = 1862,5$ Вт и данная максимальная мощность нагрузки используется для расчета мощности ФСС.

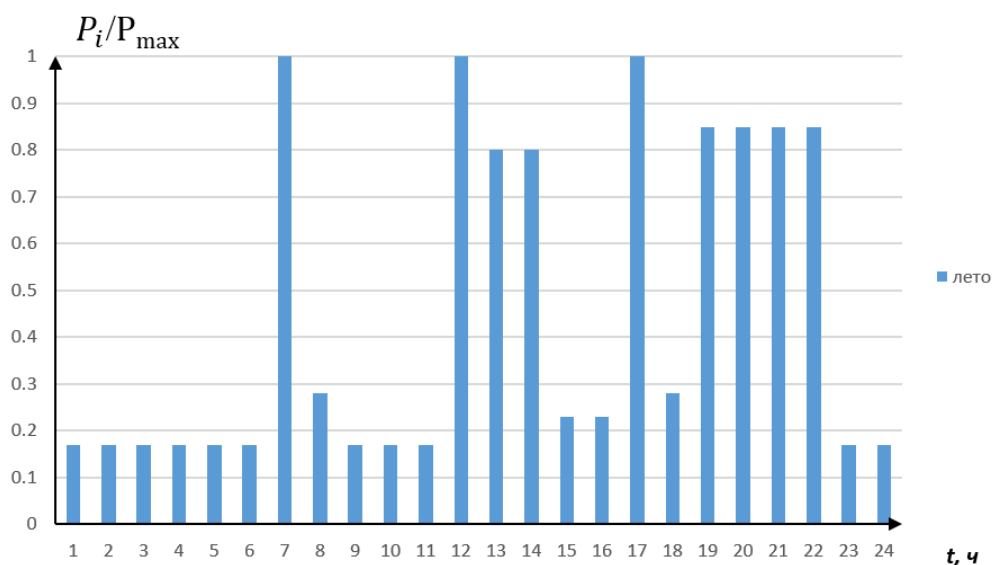


Рис.1. Последовательность изменения электрической нагрузки в летнее время

Таблица 2

Технические параметры ФСС различной мощности

№	Оборудование	1 кВт		3 кВт		5 кВт		10 кВт		30 кВт	
		Тип	Кол.	Тип	Кол.	Тип	Кол.	Тип	Кол.	Тип	Кол.
1	Солнечный модуль	LHM30C- 250W, 1640*992* 40mm, NW/GW 18/19rg	4 шт.	LHM30C- 250W, 1640*992* 40mm, NW/GW 18/19rg	12 шт.	LHM30C- 250W, 1640*992* 40mm, NW/GW 18/19rg	20 шт.	LHM30C- 250W, 1640*992* 40mm, NW/GW 18/19rg	40 шт.	LHM30C- 250W, 1640*992* 40mm, NW/GW 18/19rg	120 шт.
2	Инвертор	1000W Pure sine wave in-verter. DC In-put voltage 48V, AC Out-put voltage 230V, Frequency 50Hz	1 шт	3000W Pure sine wave in-verter. DC In-put voltage 48V, AC Out-put voltage 230V, Frequency 50Hz	1 шт	5000W Pure sine wave in-verter. DC In-put voltage 48V, AC Out-put voltage 230V, Frequency 50Hz	1 шт	5000W Pure sine wave in-verter. DC Input voltage 120V, AC Output voltage 230V, Frequency 50Hz	2 шт	10kW Pure sine wave in-verter. DC Input voltage 240V, AC Output voltage 230V, Frequency 50Hz	3 шт
3	Контроллер	System Volt-age 24V or 48V auto de-tection, Max Charging cur-rent 20A, Max load current 20A	1 set	System Volt-age 24V or 48V auto de-tection, Max Charging cur-rent 60A, Max load current 60A	1 set	System Volt-age 24V or 48V auto de-tection, Max Charging cur-rent 100A, Max load current 100A	1 set	System Voltage 24V or 48V au-to de-tection, Max Charging current 80A, Max load cur-rent 80A	2 set	System Voltage 240V, Max Charging current 120A, Max load current 120A	1 set
4	Аккумулятор	12V 120 Ah	4 шт	12V 120 Ah	12 шт.	12V 200 Ah	8 шт	12V 200 Ah	30 шт	12V 200 Ah	60 шт
5	Крепление панели	Aluminum	1000 watts	Aluminum	1000 watts	Aluminum	1000 watts	Aluminum	2000 watts	Aluminum	3000 watts
6	Соединительные разъемы	Mc4	2 set	Mc4	6 set	Mc4	10 set	Mc4	20 set	Mc4	40 set
7	PV кабель	4mm ²	80 m	4mm ²	120 m	4mm ²	150 m	4mm ²	200 m	4mm ²	500 m
8	DC распределительный ящик	-	-	-	-	-	-	In10 out1	2 set	In10 out1	2 set

Таблица 3

Возможные подключения нагрузки, график изменения нагрузки за сутки (летнее время)

№	Нагрузка	Мощность нагрузки в интервалах времени, Вт											
		7 ⁰⁵ -7 ¹⁰	7 ¹⁰ -8 ⁰⁰	8 ⁰⁰ -12 ⁰⁰	12 ⁰⁰ -12 ⁰⁵	12 ⁰⁵ -12 ¹⁰	12 ¹⁰ -14 ⁰⁰	14 ⁰⁰ -17 ⁰⁰	17 ⁰⁰ -17 ⁰⁵	17 ⁰⁵ -17 ¹⁰	17 ¹⁰ -19 ⁰⁰	19 ⁰⁰ -23 ⁰⁰	23 ⁰⁰ -7 ⁰⁰
1	Кондиционер						975					975	
2	Электрический чайник	1250			1250				1250				
3	СВЧ-печь		1500			1500				1500			
4	Холодильник			312,5		312,5		312,5		312,5		312,5	312,5
5	Телевизор											187,5	
6	Освещение зала											100	
7	Освещение кухни и туалета		50	50				50					
8	Потребитель Н1		150				150				150		
9	Потребитель Н2							112,5					
	Итого	1612,5	1862,5	312,5	1612,5	1862,5	1487,5	425	1612,5	1862,5	512,5	1575	312,5

Учитывая выше указанный ресурс солнечной энергии, можно предположить, что число солнечных часов в сутках в зимний и летний периоды будут 5 и 12 часов соответственно. Для списка потребителей (таб.3 и таб. 4) приблизительные энергозатраты в течение суток в этом случае составляет зимой (22487,125 Вт·ч) 20-22 кВт·ч и летом (12612,5 Вт·ч) 12-15 кВт·ч. При таких показателях среднемесячный результат составит порядка 660 кВт·ч., в год соответственно 7920 кВт·ч. Тогда ФСС должна вырабатывать в сутки зимой – $P = 22/5 = 4,4$ кВт; летом - $P = 22/12 = 1,8$ кВт.

Таблица 4

Возможные подключения нагрузки, график изменения нагрузки за сутки (зимнее время)

		Мощность нагрузки в интервалах времени, Вт											
№	Нагрузка	7 ⁰⁵ -7 ¹⁰	7 ¹⁰ -8 ⁰⁰	8 ⁰⁰ -12 ⁰⁰	12 ⁰⁰ -12 ⁰⁵	12 ⁰⁵ -12 ¹⁰	12 ¹⁰ -14 ⁰⁰	14 ⁰⁰ -17 ⁰⁰	17 ⁰⁰ -17 ⁰⁵	17 ⁰⁵ -17 ¹⁰	17 ¹⁰ -19 ⁰⁰	19 ⁰⁰ -23 ⁰⁰	23 ⁰⁰ -7 ⁰⁰
1	Электрический камин						1125					1125	1125
2	Электрический чайник	1250			1250				1250				
3	СВЧ-печь		1500			1500				1500			
4	Холодильник	312,5		312,5		312,5		312,5		312,5		312,5	312,5
5	Телевизор											187,5	
6	Освещение зала											100	
7	Освещение кухни и туалета	50		50				50					
8	Потребитель Н1		150				150				150		
9	Потребитель Н2							112,5					
	Итого	1612,5	1862,5	512,5	312,5	1612,5	1637,5	425	1612,5	1862,5	512,5	1725	1437,5

Кроме этого, согласно пятому этапу проектирования, если считать, что жилой дом расположен в Гокдепинском этрапе Ахалского велаята, то солнечный модуль мощностью 250 Вт в течение солнечного дня (сентябрь-март) будет производить энергию равную $E = 21,106 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$. В этих условиях мощность ФСС, обеспечивающей электрической энергией данный жилой дом, будет равна зимой и летом $7,816 \text{ кВт}$ и $5,33 \text{ кВт}$ соответственно. Как видно из расчетов, примерно $2,5 \text{ кВт}$ мощности остаётся в излишке, и которая не используется. Поэтому предлагается эту мощность использовать для выработки «зеленого» водорода.

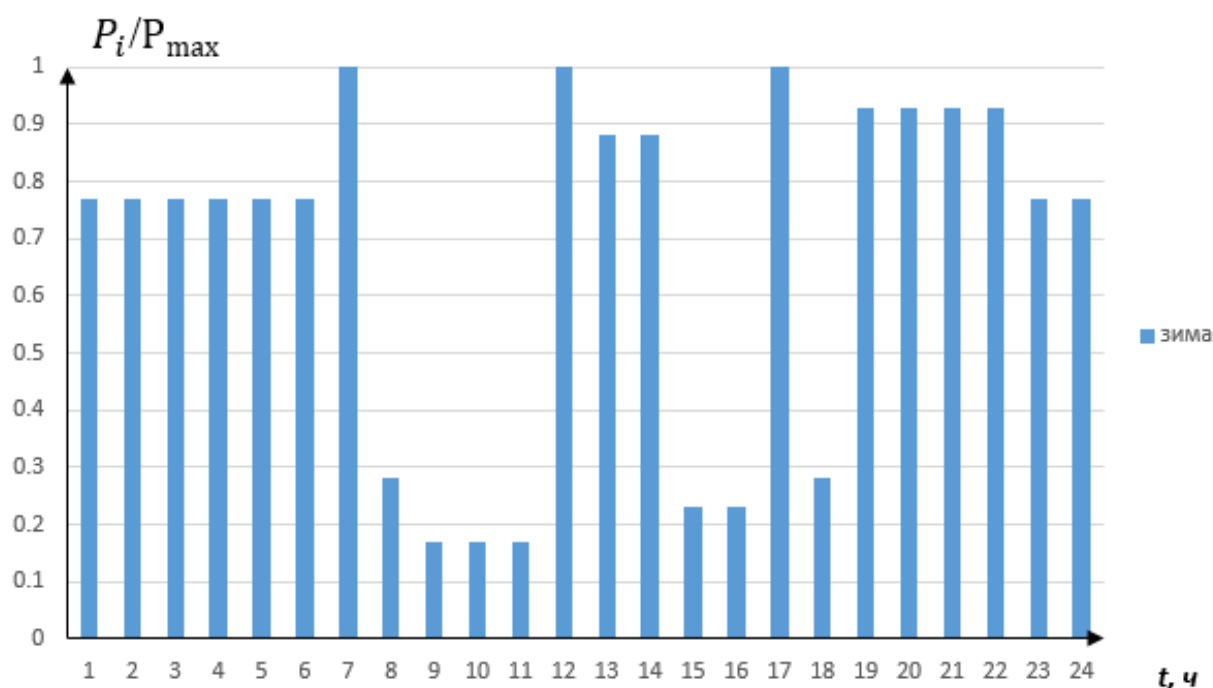


Рис.2. Последовательность изменения электрической нагрузки в зимнее время

ЛИТЕРАТУРА

1. Jumayev A. Distribution of solar energy potential on territory of Turkmenistan. //IOP Conf. Series: Earth and Environmental Sciences 1010 (2022) 012157 doi:10.1088/1755-1315/1010/1/012157 (SCOPUS).
2. Türkmenistanyň Prezidentiniň Karary bilen tassyklanan “Howanyň üýtgemegi barada Türkmenistanyň Milli strategiýasy (rejelen görnüşü). Aşgabat, 2019ý. Türkmenistanyň Prezidentiniň 2019-njy ýylyň 23-nji sentýabrynda çykaran 1415-nji Karary bilen tassyklandy.
3. Türkmenistanyň Prezidentiniň Karary bilen tassyklanan «Türkmenistanda 2030-njy ýyla çenli gaýtadan dikeldilýän energetikany ösdürmek boýunça Milli Strategiýa. Aşgabat, 2020ý. Türkmenistanyň Prezidentiniň 2020-nji ýylyň 04-nji dekabrynda çykaran 2007-nji Karary bilen tassyklandy.
4. Gaýtadan dikeldilýän energiýa çeşmeleri hakynda Türkmenistanyň Kanuny. Aşgabat şäheri. 2021-nji ýylyň 13-nji marty.
5. Jumayev A., Atayev E. Pilot projects of industrial photovoltaic solar stations. //IOP Conf. Series: Earth and Environmental Sciences 979 (2022) 012142 doi:10.1088/1755-1315/979/1/012142 (SCOPUS).