

# Методика определения графика нагрузки потребителя для оптимального проектирования солнечных фотоэлектрических станций малой мощности

Геворгян С. Г.<sup>1</sup>, Гнуни Г. Т.<sup>2</sup>, Тоноян В. А.<sup>3</sup>, Ахвердян Г. Г.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Геворгян Севак Гагикович / Gevorgyan Sevak Gagikovich - кандидат технических наук, научный сотрудник;

<sup>2</sup>Гнуни Грант Тигранович / Gnuni Hrants Tigranovich - кандидат технических наук, старший научный сотрудник,  
Стратегический центр энергетики

ЗАО «Научно-исследовательский институт энергетики»;

<sup>3</sup>Тоноян Ваге Артакович / Tonoyan Vahe Artakovich - кандидат технических наук, доцент,  
кафедра электроэнергетики,

Национальный политехнический университет;

<sup>4</sup>Ахвердян Геворг Гагикович / Akhverdyan Gevorg Gagikovich – инженер,  
Отдел «Системы вентиляции и кондиционирования»

ЗАО «Ереванская теплоэлектростанция», г. Ереван, Республика Армения

**Аннотация:** в статье обосновано актуальность правильного определения графика нагрузки для дальнейшего проектирования солнечных фотоэлектрических станций малой мощности. Приведена методика для решения данной задачи.

**Ключевые слова:** график нагрузки, солнечная фотоэлектрическая станция, расход электрической энергии, солнечная энергия.

## Введение

В настоящее время одной из основных трудностей оптимального проектирования солнечных фотоэлектрических станций (СФЭС) является оптимальное прогнозирование потребности электрической нагрузки. В отличие от традиционных электрических станций, когда главной расчетной характеристикой служила задаваемая электрическая мощность станции, в случае СФЭС главной характеристикой является суточный расход электрической энергии данного дома.

Ниже представлены главные факторы, которые определяют необходимость правильного определения графиков нагрузок потребителей.

1. Несмотря на нынешние темпы развития солнечной энергетики [1], на данный момент СФЭС продолжают оставаться одной из дорогостоящих отраслей энергетики требующих больших первоначальных инвестиций. Окупаемость таких систем, исходя из применяемой технологии (китайская, германская и т. д.), режима работы (автономная и неавтономная), тарифа на электроэнергию и т. д. варьируется в больших диапазонах и достигает до 25 лет. В данном случае, становится довольно трудно обосновать потребителю эффективность СФЭС [2]. Большинство людей не готово платить за товар, который окупается так поздно. На данный момент такие станции устанавливаются с довольно большим запасом, что приводит к удорожанию станции. Одним из решений данного вопроса может быть более точный прогноз энергопотребления, что позволит сократить первоначальные инвестиции.

2. В Армении, как и в некоторых странах, пока еще не существует тарифа на солнечную энергию, то есть потребитель не может продать избыточную электроэнергию центральной энергосистеме. При наличии тарифа, с учетом отсутствия аккумуляторных батарей, система может быть довольно конкурентоспособной в сравнении с традиционной сетью. Однако даже при наличии тарифа правительство стран предусматривает некоторые ограничения на количество продаж электроэнергии производимой на СФЭС, по этой причине точный прогноз графика нагрузки снова становится актуальным вопросом для развития данного сектора.

3. Установка солнечных фотоэлектрических станций малых мощностей на крыши домов потребителей и в тоже время точный прогноз графика нагрузки так же позволят "научить" потребителей энергосбережению. Если потребители будут иметь возможность видеть графики нагрузок собственного дома, то поймут, какие приборы или группа приборов составляют самую большую часть домашнего потребления и научатся экономить при выборе прибора или перейдут на более энергосберегающий прибор [3-4] (например, перейти на светодиодные лампы).

Следовательно, неправильный прогноз спроса на электрическую энергию приведет к неоптимальному выбору основных структурных элементов СФЭС (фотоэлектрические модули, аккумуляторы и т.д.).

Из вышесказанного следует, что правильное определение графика нагрузки потребителя остается актуальной проблемой.

**Постановка задачи.** Целью данной работы является разработка методики для правильного определения потребления электрической энергии малой мощности.

**Результаты и их обсуждение.** Исследование измеренных графиков нагрузок сельских и городских подстанций и отдельных сельских домов в различных регионах Республики Армения, режимов работы станции в разные сезоны показывают, что для правильного определения ожидаемого графика нагрузки

потребителя нужно проводить комплексный анализ потребления электроэнергии, который включает в себя следующие этапы:

**Этап 1.** Расход энергии зависит от состава бытовых электрических приборов и от продолжительности их работы. В таблицах даются данные о номенклатуре применяемых в быту приборов и их номинальной мощности [3]. Перечень приборов изменяется в зависимости от региона (например, в сельских домах состав приборов отличается от состава городских квартир).

Расход энергии в течение суток можно определить по следующей формуле:

$$W_{\text{сут}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{ни}} t_{\Sigma}, \quad (1)$$

где  $P_{\text{ни}}$  - номинальная мощность прибора,  $n$  - число приборов,  $t_{\Sigma}$  - суммарная время работы прибора, которой можно задаться, исходя из опыта эксплуатации данного прибора в домашнем хозяйстве, при этом

$$t_{\Sigma} = m t_i, \quad (2)$$

где  $t_i$  - время разового включения,  $m$  - число включения в течение суток.

Основные погрешности данного этапа связаны со следующими факторами:

- Приблизительным выбором электрической мощности устройства.

Мощность электрических приборов, которые используются в быту, изменяются в широком диапазоне. Мощность одного и того же прибора в зависимости от рабочего режима так же варьируется в широком интервале [3]. Следовательно, диапазон мощности бытовой техники сильно изменяется в зависимости от режима работы и напряжения (в зависимости от типа прибора есть и другие факторы - температура, давление и т.д.), что может привести к большим погрешностям в расчетах.

- Погрешность расчетов, связанные с выбором рабочих часов устройства. Данные о ежедневных рабочих часах предоставляются потребителем, что также может варьироваться в широких диапазонах. В особенности для одной и той же стиральной машины данный рабочий диапазон опять же зависит от режима работы, и непрофессиональная оценка потребителя может значительно отличаться от реальности.

По этому, на данном этапе точность расчётов невелика и их результаты следует принимать как ориентировочные для ниже представленных последующих этапов.

**Этап 2.** В руководствах некоторых приборов приводятся данные по годовому расходу электрической энергии. Например, фирма SAMSUNG для холодильников их фирмы приводит такие данные годового расхода электрической энергии:  $W_{\text{год}} = 225 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$  для холодильника 225 литров ( $P_{\text{н}} = 0.69 \text{ кВт}$ ), а для холодильника 348 литров -  $W_{\text{год}} = 322 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$  ( $P_{\text{н}} = 0.88 \text{ кВт}$ ). Однако эти сведения приведены при определенных условиях, которые нужно уточнить в зависимости от изменения условия (например, многие данные сняты, когда температура равна  $20^{\circ}\text{C}$ , напряжение номинальное и т.д.). Число подобных сведений производителей и точность приведенных данных невысокая, поэтому полученные результаты также следует принимать как ориентировочные.

**Этап 3.** Способ платежей квитанций. В данном случае средний суточный расход электрической энергии в данном месяце определяется

$$W_{\text{сред}} = \frac{A}{NT}, \quad (3)$$

где  $A$  - месячная оплата расхода электрической энергии,  $T$  - тариф на электрическую энергию,  $N$  - число рабочих дней данного месяца.

Достоинством данного этапа является ее простота (нет необходимости измерений) и возможность получить значений  $W_{\text{сред}}$  не только по всем месяцам данного года, но и предыдущих лет, что позволяет определить темпы изменений расхода энергии по годам.

**Этап 4.** Наиболее точным является метод измерений графика нагрузки с помощью графопостроителей. Подобный график нагрузок позволяет вычислять характеристики в любом временном диапазоне.

Перечень измеряемых характеристик следующие: расход электрической энергии, активная и реактивная мощности, сила тока и напряжение.

Недостатком данного этапа заключается в том, что графики нагрузки изменяются по сезонам, по месяцам и т.д., поэтому для правильного определения графика нагрузки требуются многократные измерения.

Получение надежных данных по энергетическим характеристикам дома связано с измерением графиков нагрузки определенного количества домов (5...10) в различных регионах (3...5), для чего

необходимо соответствующее приборное обеспечение. Подобные измерения должны сопровождаться получением сведений по составу бытовых электрических приборов данного дома и месячной платы за использованную энергию.

Отметим, что предпочтительно измерять не только суточные, но и недельные графики нагрузки, так как некоторые бытовые приборы ежедневно не используются.

Таким образом, для правильного определения графика нагрузки нужно по отдельности определить потребление электрической энергии по вышеперечисленным этапам, анализировать полученные данные и определить оптимальный (близкий к реальности) график нагрузки.

Для исследования графиков нагрузки проводились измерения для частного дома в селе Зовуни (пригород Еревана).

**Этап 1.** Перечень бытовых электроприборов представленных потребителем приведен в таблице 1.

Таблица 1. Перечень бытовых электроприборов представленных потребителем

№	Наименование	Мощность, Вт	Рабочие часы, предоставленные потребителем, час	Электрическая энергия, Вт·ч
1	Освещение	1190	6	7140
2	Телевизор	80	5	400
3	Водяной насос	350	8	2800
4	Холодильник	100	10	1000
5	Компьютер	360	6	2160
6	Стиральная машина	1000	0.5	500
7	Фен	2000	0.2	400
8	Утюг	600	0.5	300
9	Вентилятор	80	2	160
	Итого	5760		14860

Как видно из таблицы потребление электрической энергии по данным представленным потребителем составляет 14,86 кВтч.

**Этап 2.** Руководства для всех бытовых приборов для данного дома не нашлось, поэтому данный этап расчета не учитывается.

**Этап 3.** Анализ платежных квитанции по всем месяцам данного года показывает, что среднее потребление электрической энергии составляет 12,5 кВтч/день.

**Этап 4.** Одновременно проводились измерений графика нагрузки с помощью графопостроителей.

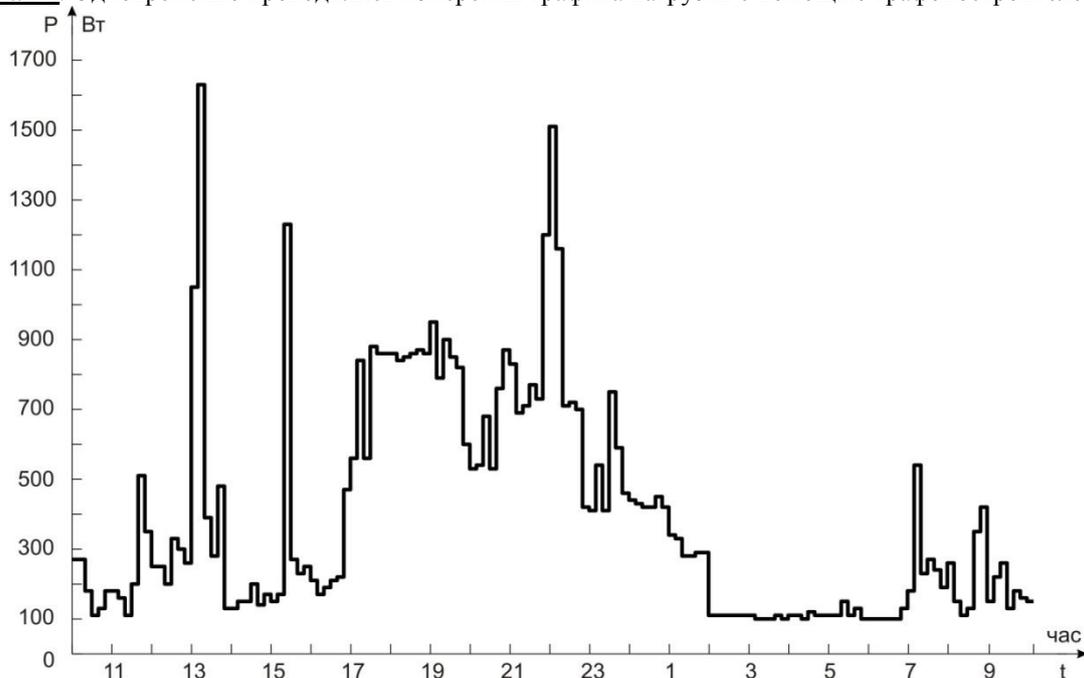


Рис. 1. Суточный график нагрузки дома в селе Зовуни

На рис. 1 представлен суточный (21 октября 2015 г.) график нагрузки данного дома в виде прямоугольников с основанием 30 мин, что позволяет определить 30 мин. максимум в наиболее нагруженную смену, в данном случае вечерний интервал времени (от 16 до 24 часов).

Обработка графика нагрузки позволила получить следующие данные:

- расход электрической энергии за день -  $W_{24} = 9.015$  кВтч,
- среднюю суточную мощность -  $P_{\text{ср.сут}} = 0.376$  кВт,
- расход электрической энергии за вечернюю смену -  $W_{\text{веч.сут}} = 5.325$  кВтч,
- среднюю мощность за наиболее нагруженную смену (вечернюю) -  $P_{\text{ср.веч}} = 0.667$  кВт,
- получасовой максимум мощности за вечернюю смену -  $P_{\text{макс..веч.}}^{0,5} = 1,12$  кВт,
- коэффициент максимума нагрузки в вечернюю смену -  $K_m = 1.68$ ,
- коэффициент использования мощности -  $K_{\text{и}} = 0.116$ ,
- коэффициент спроса -  $K_c = 0.195$ .

Таким образом, по данным потребителя потребление электрической энергии составляет 14,86 кВт·ч, по методу платежных квитанции - 12,5 кВт·ч (этап 3), а по графику нагрузки - 9,015 кВт·ч.

Полученные результаты позволяют составить представление о возможных минимальных и максимальных пороговых значениях энергопотребления дома. Дальнейший выбор структурных элементов фотоэлектрической станции (фотоэлектрические модули, аккумуляторные батареи, инвертор, контроллер, токопроводящие элементы, автоматика и т. д.) надо выполнять, руководствуясь полученными результатами, потребления электроэнергии, одного из четырех этапов (в данном случае выбраны результаты четвертого этапа). Первый этап обеспечивает режим близкий к полной автономии, однако учитывая результаты, полученные остальными этапами можно сказать, что полная автономия приводит к неоправданному удорожанию всей системы при том, что данный потребитель уже работает с системой в параллельном режиме. Получается, что полная автономия системы с экономической точки зрения не обоснована.

**Выбор основных параметров СФЭС.** Для выбора сечения кабелей и проводов используется, как правило, получасовой максимум за наиболее нагруженную смену (в нашем случае вечернюю), то есть  $P_{\text{макс..веч.}}^{0,5}$ .

В случае станций малой мощности, понятие расчетных характеристик существенно изменяется, так как в системе электроснабжения отсутствуют высоковольтные линии передач и трансформаторы, а передаваемые мощности малы.

Но самое главное отличие состоит в том, что главные элементы станции СФЭС - солнечные панели и аккумуляторные батареи выбираются не по величине мощности, как это делается в традиционных энергетических системах, а по величине электрической энергии. Расчетной характеристикой является, в данном случае, электрическая энергия, расходуемая в течение 24 часов. Расчетное значение электрической энергии, вырабатываемой солнечной панелью, должно быть несколько больше  $W_{24}$ , так как при зарядке аккумуляторов имеют место потери энергии (10...20 %). При выборе количества солнечных модулей нужно также учитывать интенсивность солнечного излучения данного региона и параметры используемых солнечного модулей.

Инвертор нужно выбирать по показателю мощности. В рассматриваемом случае, по получасовому максимуму за вечернюю смену, с учетом коэффициента перегрузки инвертора (задается в паспортных данных).

Выбор контроллера осуществляется в зависимости от емкости аккумуляторов и от алгоритма контроля зарядкой АБ (учитывая пропорцию поступления энергии от СФЭС).

#### **Выводы**

1. Неправильный или приблизительный прогноз спроса на электрическую энергию приведет к неправильному или неоптимальному выбору основных структурных элементов СФЭС (фотоэлектрические модули, аккумуляторы и т.д.), что в свою очередь приводит к неоправданному удорожанию всей системы.

2. Для правильного определения графика нагрузки нужно по отдельности определить потребление электрической энергии по вышеперечисленным этапам, анализировать полученные данные и определить оптимальный (близкий к реальности) график нагрузки.

3. Выбора инвертора и токоведущих частей нужно проводить, учитывая мощность получасового максимума за наиболее нагруженную смену.

#### **Литература**

1. Gaëtan Masson, Marie Latour, Manoël Rekinger, Ioannis-Thomas Theologitis, Myrto Papoutsis. Global market outlook for photovoltaics 2013-2017 / European photovoltaic industry association, 2013. 59 p.

2. *Виссарионов В. И. и др.* Техничко-экономические характеристики солнечной энергетики / Издательство МЭИ, 1997. 56 с.
3. *Ленаев Д. А.* Бытовые электроприборы устройство и ремонт / Справочное пособие. М.; Горячая линия. Телеком, 2004. 443 с.
4. *Варфаламеев Л. П.* Энергоэффективное электрическое освещение / М.: МЭИ, 2013 г. 288 с. ISBN: 978-5-383-00840-9.
5. *Driesse A.* Beyond the curves: modeling the electrical efficiency of photovoltaic inverters. [Text] / A. Driesse, P. Jain // Proceedings of the 33rd IEEE Photovoltaic Specialists Conference. San Diego. CA. May 11-16, 2008.