

УДК 621.311.243

## **Article Describes the Features of Electrical Supply System Settlements of the Republic of Tyva**

**Kara-kys V. Kenden\*** and **Vladimir A. Tremyasov**  
*Siberian Federal University*  
*79 Svobodny, Krasnoyarsk, 660041, Russia*

Received 29.09.2014, received in revised form 14.10.2014, accepted 15.11.2014

---

*Shown the possibility of using solar energy for autonomous power supply to consumers. Offered an improved method of determining the power of photovoltaic transducers used in decentralized power supply system's taking into account climatic and hardware factors. The conducted research power of the photoelectric transducer in the climatic conditions of the village in Tyva.*

*Keywords: Tyva, independent electric power supply, solar radiation, photoelectric transducer, power, climatic factors.*

---

## **Оценка мощности фотоэлектрических преобразователей в системах автономного электроснабжения Республики Тыва**

**К.В. Кенден, В.А. Тремясов**  
*Сибирский федеральный университет*  
*Россия, 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79*

---

*Рассмотрены особенности систем электроснабжения населенных пунктов Республики Тыва. Показана возможность использования солнечной энергии для автономного энергоснабжения потребителей. Предложена усовершенствованная методика определения мощности фотоэлектрических преобразователей, используемых в децентрализованных системах электроснабжения, с учетом климатических и аппаратных факторов. Проведены исследования мощности фотоэлектрического преобразователя в климатических условиях населенного пункта Республики Тыва.*

*Ключевые слова: Тыва, автономное электроснабжение, солнечная радиация, фотоэлектрический преобразователь, мощность, климатические факторы.*

---

Малая автономная энергетика Республики Тыва, построенная преимущественно на дизельной генерации, обусловлена социально-экономическими особенностями функционирования и развития энергетического хозяйства децентрализованных районов республики, климатическими условиями, удаленностью и труднодоступностью потребителей. Кроме того, необходимо учитывать значительную площадь обслуживания электрооборудования при низкой плотности населения и, соответственно, небольшие требуемые мощности энергогенерирующих установок из-за отсутствия крупных промышленных потребителей, высокую экологическую уязвимость территории и аграрную специализацию региона.

Изолированные энергоузлы республики – сельские населенные пункты, поселения коренных народов, скотоводов, охотников и рыбаков, горнодобывающие прииски, не охваченные централизованным электроснабжением и удаленные от топливных баз. По обобщенным данным министерства промышленности и энергетики Республики Тыва, на текущий момент на территории республики находятся в эксплуатации 12 дизельных электростанций (ДЭС), включающих 18 агрегатов, которые снабжают электроэнергией около 13 000 человек в шести районах республики. Установленная мощность энергооборудования составляет 4595 кВт.

Повысить эффективность энергоснабжения децентрализованных зон можно различными путями. Очевидным вариантом, который реализуется в Республике Тыва, является замена устаревших ДЭС с корректировкой их установленных мощностей. Однако этот вариант имеет объективные ограничения из-за высокой стоимости дизельного топлива и трудностей с его доставкой.

Принципиально более привлекательным вариантом совершенствования систем электроснабжения населенных пунктов Тывы выступает их построение с ориентацией на местные, в том числе возобновляемые, энергоресурсы. По уровню солнечной инсоляции территория Тывы относится к числу ведущих регионов России. Действие азиатского максимума обеспечивает максимальное число ясных дней даже в зимний период, когда наклон солнца над горизонтом и продолжительность дня минимальны. Максимальный приход солнечной радиации характерен для южных районов республики в пределах Убсунурской котловины. Развитию солнечной энергетики способствуют и низкие средние температуры в республике, которые позволяют достигать максимального значения коэффициента полезного действия (КПД) фотоэлектрических преобразователей (ФЭП).

Задачей данного исследования является совершенствование методики оценки мощности солнечной панели (СП), учитывающей влияния климатических и аппаратных факторов на вырабатываемую мощность ФЭП в реальных условиях на примере с. Качык Республики Тыва.

Ввиду малочисленности актинометрических станций (АМС) на территории Республики Тыва значения поступлений солнечной энергии могут быть получены косвенным методом, основанным на использовании специальной математической модели. Приборные актинометрические измерения только оценочные, для чего проводят непосредственные измерения на месте установки ФЭП, обычно непродолжительные.

Для условий Тывы проанализированы возможности использования нескольких методик расчета величины солнечной радиации  $E_{СП}$ , поступающей на СП с оценкой допустимой погрешности [1–4]. Сравнительный анализ позволил выбрать методику, предложенную Р. А. Бердом [4], с использованием поправочных коэффициентов для условий Тывы и дающую значения

солнечной радиации, погрешность которых составляет не больше 5 % суммарной солнечной радиации, измеренной на АМС, расположенной в г. Кызыл.

Плотность потока полного солнечного излучения на горизонтальную поверхность  $E_{гор}^{полн}$ , Вт/м<sup>2</sup>, определяется по выражению

$$E_{гор}^{полн} = (E_{гор}^{np} + E_{гор}^{diff}) / (1 - r_3 \cdot r_a), \quad (1)$$

где  $E_{гор}^{np}$ , Вт/м<sup>2</sup>, – плотность потока прямого солнечного излучения при чистом небе;  $E_{гор}^{diff}$ , Вт/м<sup>2</sup>, – плотность потока диффузного солнечного излучения;  $r_a$ ,  $r_3$  – значения альбедо атмосферы и подстилающей поверхности

$$r_a = 0,0685 + (1 - B_a) \cdot (1,0 - k_{AS}), \quad (2)$$

где  $B_a$  – отношение рассеянного прямого излучения к общему рассеянному излучению,  $k_{AS}$  – коэффициент рассеяния частицами сухого воздуха.

Отражательную способность любой поверхности (снег, песок, трава) можно характеризовать величиной ее альбедо  $r_3$  [5]. Суммарная радиация, дошедшая до земной поверхности, частично отражаясь от нее, создает отраженную солнечную радиацию, направленную от земной поверхности в атмосферу. Наибольшей отражательной способностью обладает свежеспавший снег – до 90 %. В период, когда нет устойчивого снежного покрова, доля рассеянной радиации не превышает 15 %. С установлением снежного покрова доля рассеянной радиации снегом превышает 50–60 %. Снежный покров на территории Тывы устанавливается в течение 6 месяцев: с ноября до апреля. В ясные дни освещенность за счет рассеяния снегом возрастает до двух раз по сравнению с освещением СП только прямыми лучами. Наличие снежного покрова в республике в течение полугода зимой способствует увеличению выработки электроэнергии солнечными панелями в 1,5...2 раза по сравнению, например, с территорией Германии, где зимой почти не бывает снега. Снежное поле отражает до 90 % солнечных лучей или рассеянного излучения.

Плотность потока прямого солнечного излучения при чистом небе с учетом поправочных коэффициентов для условий Тывы  $E_{гор}^{np}$ , Вт/м<sup>2</sup>,

$$E_{гор}^{np} = E \cdot \cos\Theta_Z \cdot k^{np} \cdot k_{гор}^{np}, \quad (3)$$

где  $E$  – нормальная плотность потока солнечного излучения в космосе (солнечная постоянная  $E=1367$  Вт/м<sup>2</sup>);  $\cos\Theta_Z$  – косинус угла падения лучей на горизонтальную поверхность;  $k^{diff}$  – коэффициент ослабления процессов пропускания прямого солнечного излучения в атмосфере Земли; значения поправочных коэффициентов  $k_{гор_3}^{np} = 1,14$  – для зимних месяцев и  $k_{гор_л}^{np} = 0,91$  – для летних месяцев года.

Плотность потока диффузного солнечного излучения с учетом поправочных коэффициентов для условий Тывы  $E_{гор}^{diff}$ , Вт/м<sup>2</sup>,

$$E_{гор}^{diff} = E \cdot \cos\Theta_Z \cdot k^{diff} \cdot k_{гор}^{diff}, \quad (4)$$

где  $k_{гор}^{diff} = 1,05$  – поправочный коэффициент при расчете диффузного солнечного излучения, поступающего на горизонтальную поверхность для всех месяцев года;  $k^{diff}$  – коэффициент ослабления диффузионного солнечного излучения в атмосфере Земли.

Угол наклона СП является одним из главных аппаратных факторов, влияющих на вырабатываемую мощность солнечной панели. Солнечные панели вырабатывают максимальную мощность, когда они направлены на Солнце, т. е. их поверхность перпендикулярна солнечным лучам. Использование СП с устройством слежения за Солнцем (трекером) способствует увеличению производства электроэнергии на 10 % в зимний период и на 40 % летом, но стоимость таких СП возрастает в два и более раза в сравнении со стационарными панелями [6]. Поэтому потребители отдают предпочтение стационарным СП.

СП обычно располагаются на крыше или поддерживающей конструкции в фиксированном положении. Для весны и осени оптимальный угол наклона равен значению широты местности. Для зимы к данному значению прибавляется 15 градусов, а летом из этого значения вычитается 15 градусов. Поэтому рекомендуется менять дважды в год угол наклона солнечной панели с летнего на зимний.

Значения плотности потока полного солнечного излучения, падающего на наклонную поверхность СП  $E_{СП}$ , Вт/м<sup>2</sup>, равны

$$E_{СП} = E_{накл}^{np} + E_{накл}^{диф} + E_{накл}^{отр}. \quad (5)$$

Значения плотности потока прямого, диффузного и отраженного солнечных излучений, поступающих на наклонные поверхности, определяются по формулам:

$$E_{накл}^{np} = E_{след}^{np} \cdot \cos \Theta_{накл}; \quad (6)$$

$$E_{накл}^{диф} = E_{гор}^{диф} \cdot \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right); \quad (7)$$

$$E_{накл}^{отр} = E_{гор}^{полн} \cdot P_{возд} \cdot \left( \frac{1 - \cos \beta}{2} \right), \quad (8)$$

где  $\cos \Theta_{накл_i}$  – косинус угла падения лучей на наклонную поверхность, ориентированную на юг;  $P_{возд}$ , Па – атмосферное давление;  $\beta$  – оптимальный угол наклона СП; для условий с. Качык составляет в зимнее время  $\beta_{ЗИМ} = 65^\circ$ , в летнее  $\beta_{ЛЕТ} = 35^\circ$ .

На рис. 1 представлен график среднемесячных значений полного прихода солнечного излучения на наклонную поверхность СП для с. Качык, полученный по вышеописанной методике. Среднемесячное значение плотности потока солнечного излучения на наклонную поверхность СП для с. Качык составляет от 38 до 262 кВт/м<sup>2</sup>, а суммарный годовой приход солнечного излучения – 1823 кВт/м<sup>2</sup>.

В реальных условиях максимальная мощность, которую способна генерировать СП, варьируется в пределах от 0 до 120 % её пиковой мощности, указанной в технических характеристиках при Standard Test Condition (STC). В процессе производства СП подвергают облучению для измерения значений вольтамперных характеристик при STC: потоке солнечной энергии 1000 Вт/м<sup>2</sup>, температуре фотоэлектрических солнечных элементов 25 °С и солнечном спектре на широте 45° при атмосферной массе, равной 1,5. Точка на вольтамперной характеристике СП, измеренной при STC, в которой произведение тока и напряжения максимально, – это пиковая мощность СП.

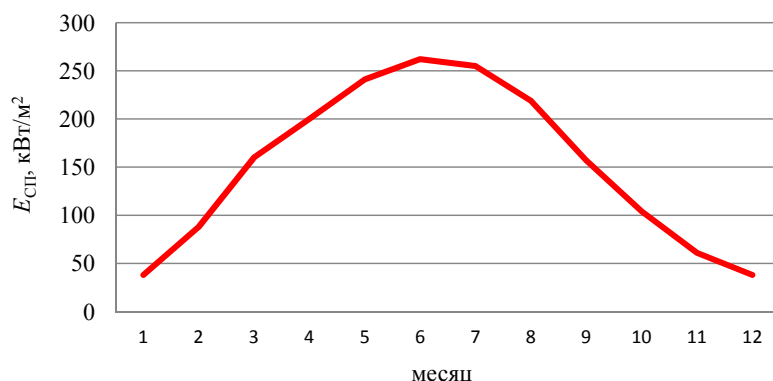


Рис. 1. Среднемесячные значения плотности потока солнечного излучения на наклонную поверхность для с. Качык

На вырабатываемую мощность солнечной панели влияют климатические факторы местности и аппаратные факторы, связанные с конструкцией (технологией изготовления) СП и углом ее размещения относительно горизонта (технологией монтажа). На рис. 2 представлена зависимость вырабатываемой мощности СП от перечисленных факторов и связи между ними.

Техническое качество СП определяется основной величиной – КПД солнечного излучения, выраженного как отношение максимальной мощности СП к произведению плотности мощности падающего излучения на площадь СП. Кремниевые солнечные элементы в серийном производстве достигли следующих значений КПД: 18,5 % – монокремниевые элементы и 17,4 % – поликремниевые элементы. Большой КПД монокремниевых элементов объясняется тем, что в их конструкции используются специально выращенные кристаллы кремния с однородной структурой, в то время как поликремниевые производятся из расплава кремния. Кроме того, срок снижения эффективности монокристаллического кремния при эксплуатации составляет более 25 лет, в течение которых КПД уменьшается менее чем на 20 % из-за частичной потери прозрачности гидроизолирующего материала. У поликремниевых элементов снижение эффективности достигает 30 % за 15 лет. Несмотря на это, по состоянию на 2013 г. более 70 % фотоэлектрических станций в мире смонтированы с использованием поликремниевых СП, так как инвесторов больше интересует общая стоимость и срок окупаемости проекта, чем максимальные значения эффективности таких станций и их долговечность.

Кроме вышеперечисленных аппаратных факторов снижение вырабатываемой мощности СП может быть связано с их недостаточной вентиляцией, которая может привести к перегреву солнечной панели на 20 °С и вследствие этого к ускоренной деградации полимерных герметизирующих материалов. В работе [7] были проведены испытания СП на их термическое состояние при различных способах монтажа. По результатам испытаний выявлено, что эффективный отвод тепла от СП достигается при зазоре не менее 225 мм между тыльной поверхностью панели и плоскостью крыши, обеспечивая при этом естественное конвекционное охлаждение воздухом.

Немаловажным фактором, способным снизить эффективность СП, является ее затененность. Затенение от соседних зданий, деревьев или антенн может значительно снизить про-

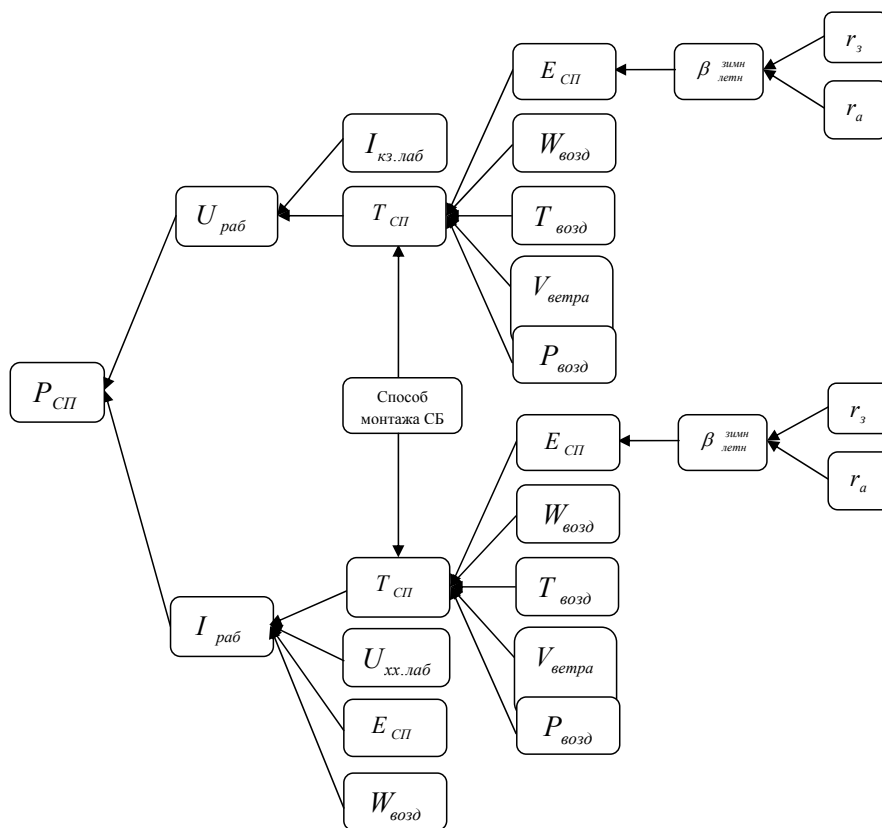


Рис. 2. Зависимость вырабатываемой мощности  $P_{СП}$  солнечной панели от климатических и аппаратных факторов и связи между ними:  $U_{раб}$ ,  $I_{раб}$  – рабочие напряжение и ток СП;  $U_{хх.лаб}$  – напряжение холостого хода и  $I_{кз.лаб}$  – ток короткого замыкания, полученные в лабораторных условиях;  $T_{СП}$  – температура солнечной панели;  $T_{возд}$ ,  $P_{возд}$ ,  $W_{возд}$  – температура, давление и влажность воздуха;  $V_{ветра}$  – скорость ветра,  $E_{СП}$  – суммарная солнечная радиация на наклонную поверхность СП;  $\beta_{зимн\ летни}$  – оптимальной угол наклона СП,  $r_з$  – альbedo постилающей поверхности,  $r_а$  – альbedo атмосферы

изводительность СП. Поэтому до монтажа следует ознакомиться с зонами затенения для оптимального размещения солнечной установки и предусмотреть расположение панелей на определенном расстоянии друг от друга. Временное затенение из-за снега, опавших листьев, птичьего помета, пыли и т. д. устраняется естественным образом (дождь, ветер в сочетании с углом наклона СП). При монтаже СП следует обязательно учитывать особенности ландшафта, наличие деревьев, построек, линий электропередач.

Для исследования влияния ряда вышеуказанных факторов на вырабатываемую мощность ФЭП авторами работы выбрана солнечная монокремниевая панель ТСМ 160(24) производства ООО «СоларИннТех» (г. Зеленоград) (табл. 1).

Среднемесячная вырабатываемая мощность СП в реальных условиях, Вт/м<sup>2</sup>, определяется по выражению

$$P_{СП} = U_{раб} \cdot I_{раб}, \tag{9}$$

где  $U_{раб}$ , В, – рабочие напряжения;  $I_{раб}$ , А, – рабочий ток СП:

Таблица 1. Технические характеристики солнечной панели TCM-160(24)

Параметр	Величина
Максимальная выходная мощность	160 Вт±5 %
Номинальное напряжение	24 В
Напряжение холостого хода	42 В±5 %
Ток короткого замыкания	5,7±5 %
Напряжение при максимальной мощности	34 В±5 %
Ток при максимальной мощности	4,6 А±5 %
Размеры	1580x815x43 мм
Вес	17,5 кг
Температура окружающего воздуха при эксплуатации	минус 40...+50 °С

$$U_{раб} = 0,728 \cdot U_{xx}; \quad (10)$$

$$I_{раб} = 0,763 \cdot I_{кз}, \quad (11)$$

где  $U_{xx}$ , В, – реальное значение напряжения холостого хода СП;  $I_{кз}$ , А, – реальное значение тока короткого замыкания СП.

При производстве и проведении лабораторных испытаний СП определяются значения напряжения (тока) в точке вольтамперной характеристики с нулевым током (напряжением), которые указываются впоследствии в листах технических характеристик. Следует заметить, что полученные в лабораторных условиях напряжение холостого хода и ток короткого замыкания будут отличаться от действительных из-за влияния климатических факторов на работу СП.

На вырабатываемую мощность СП в реальных условиях прежде всего оказывает влияние ее температура, которая зависит от ряда климатических факторов: солнечной радиации на ориентированную поверхность, температуры окружающей среды, скорости ветра, влажности и давления воздуха. С ростом температуры ток короткого замыкания увеличивается, а напряжение холостого хода уменьшается. Количественно влияние температуры на значение выдаваемой мощности можно оценить, исследуя по отдельности зависимости тока и напряжения от температуры.

С учетом климатических условий в [8] получены выражения для напряжения холостого хода  $U_{xx}$  и тока короткого замыкания  $I_{кз}$ :

$$U_{xx} = U_{xx,лаб} - 0,1 \cdot (T_{СП} - T_{лаб,СП}); \quad (12)$$

$$I_{кз} = I_{кз,лаб} + 0,01 \cdot (T_{СП} - T_{лаб,СП}) - 0,004 \cdot W_{возд} + 0,005 \cdot (E_{СП} - E_{лаб}), \quad (13)$$

где  $T_{лаб,СП}$  – температура кремниевого солнечного модуля, находится в пределах 38–58 °С при Standard Reference Environment (SRE): уровне инсоляции  $E_{лаб}$ , равном 800 Вт/м<sup>2</sup>, нормальном угле наклона к излучению, температуре окружающего воздуха  $T_{лаб,возд} = 20$  °С при скорости движения воздуха  $V_{ветр} = 1$  м/с.

Оценке изменения температуры панели  $T_{СП}$  в процессе ее функционирования посвящено значительное количество зарубежных и отечественных работ [8–12]. В исследованиях исполь-

зуются достаточно сложные математические модели. Двухлетние наблюдения и сбор данных по динамике изменения температуры солнечных элементов в зависимости от рабочих условий ( $T_{возд}$ ,  $E_{СП}$ ,  $V_{ветр}$ ) дали возможность американским ученым получить выражение для определения среднемесячной температуры  $T_{СП}$ , °С, солнечной панели [13]:

$$T_{СП} = 0,943 \cdot T_{возд} + 0,28 \cdot E_{СП} - 1,528 \cdot V_{ветр} + 4,3. \quad (14)$$

Кроме перечисленных выше трех климатических факторов на температуру солнечной панели также влияют влажность и давление воздуха. Проведенный 7-летний мониторинг авторами работы [8] по пяти климатическим факторам позволил провести многофакторный регрессионный анализ с последующим получением формулы температуры  $T_{СП}$ , °С:

$$T_{СП} = T_{лаб.СП} + 0,81 \cdot (T_{возд} - T_{лаб.возд}) - 0,06 \cdot W_{возд} - 0,01 \cdot P_{возд} - 0,24 \cdot V_{ветр} + 0,06 \cdot (E_{СП} - E_{лаб}). \quad (15)$$

Полученные среднемесячные значения температуры СП в течение года с применением формул (14) и (15) для с. Качык (Республика Тыва) представлены в виде кривых на рис. 3.

Расхождения среднемесячных значений температур находятся в пределах от 0 до 20 °С: с марта по сентябрь различие в значениях температур составляет 5–20 °С, а с октября по февраль – 0–10 °С. В случае применения СП в течение года для расчета температуры панели рекомендуется пользоваться формулой (15), так как в ней учитываются такие климатические факторы, как полный приход солнечной энергии, скорость ветра, температура, влажность и давление воздуха.

Для с. Качык Республики Тыва при определении температуры СП были взяты из [14] значения среднемесячных температур воздуха  $T_{возд}$ , °С, и скоростей ветра  $V_{ветр}$ , м/с, в светлое время суток и рассчитанные по вышеописанной методике среднемесячные значения суммарной радиации на ориентированную поверхность  $E_{СП}$ , кВт/м<sup>2</sup>. Применительно к исследуемой местности географическая широта и долгота составляют  $\varphi_M = 51,7^\circ$  с.ш. и  $\lambda_M = 94,5^\circ$  в.д.

В качестве расчетных значений приняты среднемесячные температуры СП, полученные по формуле (15), так как панели будут функционировать в течение всего года.

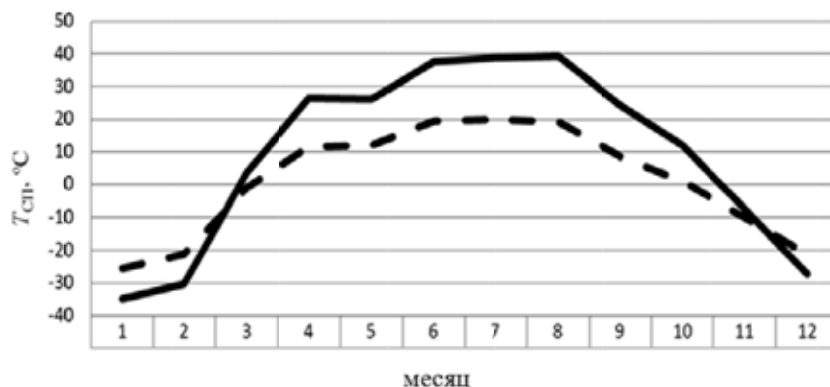


Рис. 3. Среднемесячные значения температуры СП: сплошная кривая – значения  $T_{СП}$ , полученные по (14); пунктирная кривая – значения  $T_{СП}$ , полученные по (15)



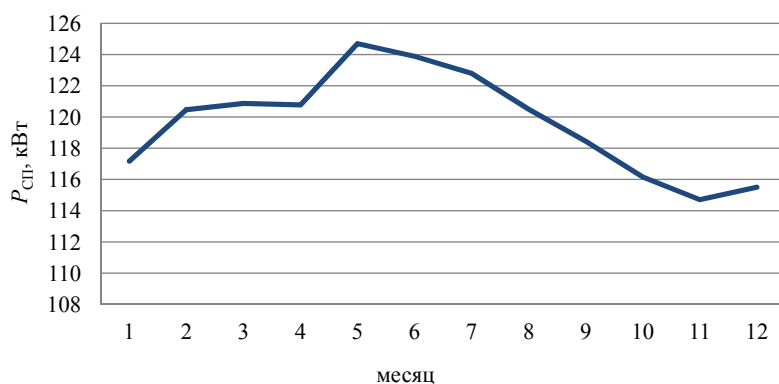


Рис. 4. Среднемесячные значения вырабатываемой мощности СП  $P_{СП}$  с учетом климатических и аппаратных факторов

Для условий с. Качык с изменением температуры воздуха от минус 30 до 20 °С, скорости ветра от 1 до 3 м/с в светлое время суток и суммарной солнечной радиации на ориентированную поверхность от 38 до 262 кВт/м<sup>2</sup> в течение года среднемесячная вырабатываемая мощность одной СП марки ТСМ-160(24) по произведенным расчетам составляет от 117 до 125 кВт (рис. 4). С учетом климатических и аппаратных факторов среднегодовое значение вырабатываемой одной СП мощности достигает 1436 кВт.

### Выводы

1. В реальных условиях максимальная вырабатываемая мощность СП отличается от пиковой мощности, указанной в технических характеристиках. Как было показано ранее, это явление связано с влиянием на производительность СП ряда аппаратных параметров и климатических факторов местности, которым производители и потребители СП не уделяют должного внимания и не учитывают их при разработке или приобретении.

2. К аппаратным параметрам относятся характеристики, связанные с технологией изготовления и эксплуатации СП. При выборе СП следует отдавать предпочтение монокремниевым модулям, так как они имеют однородную структуру, обеспечивают больший срок их эксплуатации и меньший процент снижения КПД по сравнению с поликремниевыми панелями. При установке СП на конструкциях необходимо обеспечить эффективный отвод тепла от панели, обеспечивая при этом естественное конвекционное охлаждение воздухом. У стационарных панелей, установленных на поддерживающей конструкции, рекомендуется менять дважды в год угол наклона солнечной панели с летнего на зимний. До монтажа следует ознакомиться с зонами затенения для оптимального размещения солнечной установки и предусмотреть расположение модулей на определенном расстоянии друг от друга.

3. Предложена усовершенствованная методика оценки мощности солнечной панели, учитывающая влияние климатических (суммарная радиация на наклонную поверхность, температура, давление и влажность воздуха, скорость ветра) и аппаратных (напряжение холостого хода, ток короткого замыкания СП, способ монтажа) факторов на вырабатываемую мощность ФЭП в реальных условиях на примере с. Качык Республики Тыва.

### Список литературы

- [1] *Аронова Е.С.* // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2006. № 6. Т. 1. С. 62–66.
- [2] *Шерьязов С.К.* // Техника в сельском хозяйстве. 2000. № 3. С.36–39.
- [3] *Безруких П.П., Арбузов Ю.Д., Борисов Г.А. и др.* Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России. СПб.: Наука, 2002. 314 с.
- [4] *Bird R.A., Hailstorm R.L.* // SERI/TR-642-761, Solar Energy Research Institute (SERINREL). 1981.
- [5] Метеорологический ежемесячник. Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Среднесибирское УГМС. 2001–2011.
- [6] *Удалов С.Н.* Возобновляемые источники энергии: Учебник. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. 432 с.
- [7] *Fuentes M.K.* // Albuquerque, New Mexico 87185 and Livermor, California 94550: Sandia National Laboratories, Sand85-0330 UC-63, May, 1987.
- [8] *Юрченко А.В., Волгин А.В., Козлов А.В.* // Известия Томского политехнического университета. 2009. Т. 314. № 4 С. 142–148.
- [9] *Kenny R.P., Huld T.A., Iglesias S.* // Proceedings of the 21<sup>st</sup> EU PVSEC, Dresden, Germany, September 4-8. 2006. P. 2088–2092.
- [10] *Merten J., Amy E. de le Breteque* // Proceedings of the 21<sup>st</sup> EU PVSEC, Dresden, Germany, September 4-8. 2006. P 2871–2874.
- [11] *Muresan C.* // Conference in Europe – From PV technology to energy solution. 7-11 October 2002, Rome, Italy. 2002. P. 737–740.
- [12] *Nguyen A.M., Artigao A., Cunningham D.W. etc* // Proceedings of the 21<sup>st</sup> EU PVSEC, Dresden, Germany, September 4-8. 2006. P 2031–2037.
- [13] *Tamizhani G., Tang Ji Y., Petacci L.* // NREL and Solar program review meeting 2003, NREL/CD-520-33586. P. 936–939.
- [14] Архивы погоды [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.pogodaiklimat.ru/>  
Дата обращения: 16.03.2014.