

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛА СЕЗОННОГО АККУМУЛИРОВАНИЯ ХОЛОДА ПРИ РАБОТЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАНЕЛЕЙ В НОЧНОЕ ВРЕМЯ

А.В. Дологлонян, А.К. Сухов, И.Н. Стаценко

Институт природно-технических систем, РФ, г. Севастополь, ул. Ленина, 28
E-mail: dologlonyan@gmail.com

На основе модели работы солнечных коллекторов в ночное время дана оценка потенциала сезонного аккумулирования холода для различных температур при работе охлаждаемых фотоэлектрических панелей в ночное время в южных регионах РФ на примере г. Севастополя. Определены возможности сезонного аккумулирования холода для повышения КПД солнечных фотоэлектрических электростанций.

Ключевые слова: аккумулирование холода, фотоэлектрическая панель, энергопотребление.

Введение. Энергетическая проблема является ключевой среди технических, экономических и социальных проблем общества. Обеспечение потребностей в энергии в современном мире вызывает необходимость глубокой перестройки в топливно-энергетическом комплексе, как в сфере получения, так и в сфере потребления энергии.

Одним из важных направлений этой перестройки является экономия органического топлива за счет использования возобновляемых источников энергии, в том числе солнечной энергии [1].

По оценкам аналитиков объем рынка солнечной энергетики за 10 лет с 2008 по 2018 гг. увеличится более чем в 2,5 раза, а мощность вырастет более чем в 5 раз. Солнечные батареи давно стали основным источником электропитания на космических аппаратах. Уже созданы солнечные батареи тоньше волоса для питания кардиостимуляторов и другой биомедицинской техники, подзарядки различных гаджетов. Большие перспективы их использования в гибридных приводах автомобилей, беспилотных летательных аппаратов и многих других приложениях [2, 3].

Перспективы использования солнечной энергии в России являются важной темой развития возобновляемой энергетики. Использование солнечной энергии, возможности создания крупномасштабных производств для этой перспективной отрасли требуют решения множества фундаментальных научных проблем и прикладных задач. Повышение эффективности использования фотоэлектрических солнечных станций является весьма актуальной проблемой, решение которой позволит увеличить эффективность и

улучшить технико-экономические показатели солнечного энергетического оборудования.

Низкий коэффициент полезного действия (КПД) фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) приводит к повышению стоимости электроэнергии, вырабатываемой солнечной станцией. Кроме этого, отсутствие солнечного излучения в ночные часы и неустойчивый характер интенсивности солнечного излучения в дневное время, требуют аккумулировать поступающую электроэнергию, что также повышает ее стоимость. С другой стороны, разница температур в дневное и ночное время может быть существенной, особенно в районах с резко континентальным климатом, и это позволяет аккумулировать холод с помощью ФЭП в ночное время, а потом использовать накопленный холод для охлаждения ФЭП в дневное время, и таким образом повышать их КПД. В работах [4, 5] были рассмотрены методики расчета работы СК различных конструкций в ночное время. Для расчета количества холода при работе ФЭП в ночное время можно применить методику, разработанную для неостекленного коллектора [4]. Целью данной статьи является определение потенциала сезонного аккумулирования холода при работе ФЭП в «ночном режиме» для южных регионов РФ на примере г. Севастополя.

Климатические параметры г. Севастополя. Климатические параметры любого региона в настоящее время легко доступны в глобальной сети. В данной статье эти параметры взяты из источника [6] и представлены в нижеследующей табл. 1.

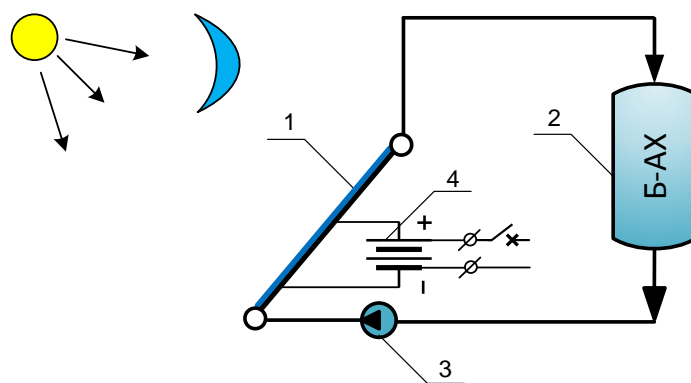
Таблица 1. Некоторые климатические параметры г. Севастополя

Месяц	Ян-варь	Фев-раль	Март	Ап-рель	Май	Июнь	Июль	Ав-густ	Сен-тябрь	Ок-тябрь	Но-ябрь	Де-кабрь
Темп. ночью, °С	+3,6	+3,7	+5,5	+9,2	+14,6	+19,5	+21,9	+22,4	+18,5	+12,9	+8,9	+5,1
Продолж. ночи, час	14,65	13,5	12,1	10,5	9,25	8,55	8,9	10	11,45	13	14,35	15,05
Темп. днем, °С	+6,2	+6,9	+9	+14	+20,1	+25,3	+28,3	+28,9	+24	+17,4	+12,5	+7,9
Продолж. дня, час	9,35	10,5	11,9	13,5	14,75	15,45	15,1	14	12,55	11	9,65	8,95
Скор. ветра, м/с	5,3	5,1	5,1	4,7	3,5	3,8	3,9	4,1	4,2	4,3	4,5	5,1
Темп. воды в море, °С	8,9	7,9	8,2	10,1	16,1	21,5	24,3	25,1	22,2	17,9	13,7	10,5

Данные табл. 1 наглядно демонстрируют, что наиболее высокий природный потенциал аккумулирования холода приходится на зимний период. Поэтому целесообразно с помощью ФЭП накапливать холод по большей части в зимнее время, а использовать – в летнее.

Методика расчета количества аккумулированного холода за сезон. Система сезонного аккумулирования холода может быть открытой и закрытой. В открытую систему теплоноситель посту-

пает из окружающей среды, приобретает необходимую температуру и постепенно расходуется на нужды потребителя. В закрытой системе теплоноситель имеет постоянную массу и взаимодействует с потребителем и окружающей средой через теплообменные аппараты. В этой статье будет рассмотрена закрытая система. Схема солнечной электрогенерирующей установки, снабженная закрытой системой аккумулирования холода, представлена на рис. 1.



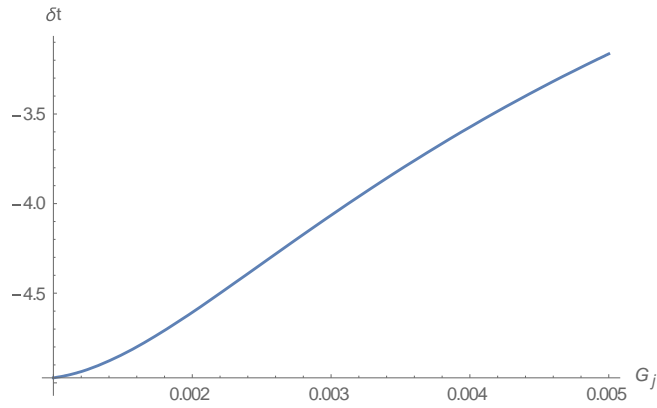
1 – фотоэлектрическая охлаждаемая панель; 2 – бак-аккумулятор холода;
3 – насос; 4 – блок электрических аккумуляторов

Рис. 1. Схема солнечной водонагревательной установки с системой аккумулирования холода

В системе аккумулирования холода температура теплоносителя бывает минимальной (T_{\min}) и достигается в конце процесса аккумулирования и максимальной (T_{\max}), которая бывает в начале процесса аккумулирования.

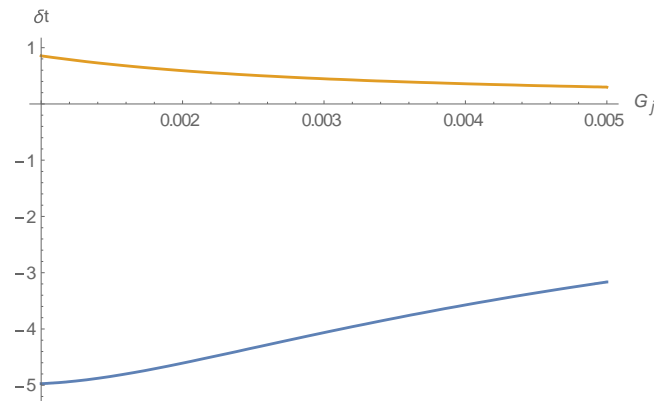
Аккумулирование холода с помощью фотоэлектрических охлаждаемых панелей, работающих в ночном режиме, целесообразно осуществлять при температурах окружающей (T_a) среды меньшей

или равной максимальной температуре теплоносителя. В противном случае, как показано на рис. 2, будет происходить нагрев теплоносителя за счет конвективной теплоотдачи окружающего воздуха интенсивнее, чем охлаждение за счет теплообмена излучением с небосводом. При нулевой скорости ветра охлаждение теплоносителя будет наблюдаться, но его величина не представляет практического интереса (рис. 3).



T_s – температура небосвода; u_a – скорость ветра; G_j – расход теплоносителя, кг/с.
 $\delta T = T_{\max} - T_{\min}$. $T_a = 22,4^\circ\text{C}$; $T_{\max} = 15^\circ\text{C}$; $T_s = 7,3^\circ\text{C}$; $u_a = 4,1$ м/с.

Рис. 2. Зависимость перепада температур в СК от расхода теплоносителя



$T_a = 22,4^\circ\text{C}$; $T_{\max} = 15^\circ\text{C}$; $T_s = 7,3^\circ\text{C}$; $u_a = 4,1$ м/с – нижний график.
 $T_a = 22,4^\circ\text{C}$; $T_{\max} = 15^\circ\text{C}$; $T_s = 7,3^\circ\text{C}$; $u_a = 0$ м/с – верхний график.

Рис. 3. Зависимость перепада температур в СК от расхода теплоносителя

Процесс аккумуляции можно представить как последовательное охлаждение всей массы теплоносителя в баке-аккумуляторе холода с T_{\max} до T_{\min} . Начинается этот процесс, когда температура окружающей среды в ночное время снизится до величины T_{\max} .

Из [4] известно, что при работе в ночное время температуру на выходе из СК (T_o) можно определить по формуле

$$T_o = T_i + (T - T_i) \left[1 - \exp\left(-\frac{F'U_L A}{G_j c_p}\right) \right], \quad (1)$$

где $T = T_a + \eta_0 \frac{I_s}{U_L}$ – равновесная температура поглотительной панели ФЭП, К; I_s – излучение небосвода, Вт/м²; U_L – коэффициент тепловых потерь ФЭП, Вт/(м² К); η_0 – оптический КПД ФЭП;

F' – коэффициент эффективности поглотительной панели ФЭП.

Входящие в (1) величины рассчитываются иначе, чем при работе в дневное время. Подробное описание величин, входящих в (1), дано в [4].

Если полагать температуру теплоносителя на выходе из ФЭП фиксированной, то расход теплоносителя для j -го месяца через охлаждаемую ФЭП можно определить из выражения (1)

$$G_j = -\frac{F'U_L A}{c_p \ln \frac{T - T_o}{T - T_i}}, \quad (2)$$

где $T_o = T_{\min}$; $T_i = T_{\max}$.

Количество накопленного холода при фиксированном перепаде температур в системе охлаждения ФЭП за месяц можно рассчитать по выражению

$$Q_j = 3600 \cdot \tau_j \cdot n_j \cdot G_j \cdot c_p \cdot \delta T, \quad (3)$$

где τ_j – продолжительность ночи, час; n_j – количество дней в j -м месяце; G_j – расход теплоносителя через охлаждаемую ФЭП, кг/с; c_p – теплоемкость теплоноси-

теля, кДж/(кг К); $\delta T = T_i - T_o$ – перепад температур теплоносителя на ФЭП, К.

Распределение количества аккумулированного холода по месяцам, рассчитанного по выражению (3), представлено на рис. 4 и 5.

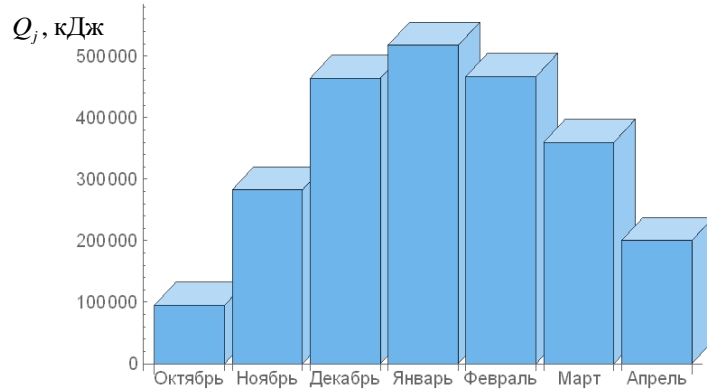


Рис. 4. Гистограмма распределения накопленного холода ФЭП с КПД 15% площадью 1 м^2 при охлаждении теплоносителя с 20 до 10°C по месяцам года

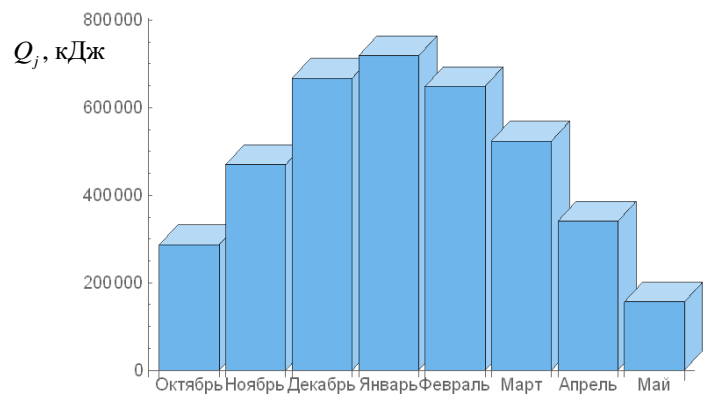


Рис. 5. Гистограмма распределения накопленного холода ФЭП с КПД 15% площадью 1 м^2 при охлаждении теплоносителя с 25 до 15°C по месяцам года

Рис. 4 и 5 наглядно показывают, что чем выше значение T_{\min} , тем большее количество холода может быть накоплено за сезон.

Количество накопленного холода за сезон составит

$$Q = \sum_j Q_j, \quad (4)$$

где j – номер месяца, когда $G_i \neq 0$.

Расчеты, произведенные по выражениям (2)–(4) показывают, что при охлаждении теплоносителя с 20 до 10°C 1 м^2 поверхности ФЭП может быть накоплено порядка [7] $2,4 \text{ ГДж}$ холода за сезон, при охлаждении теплоносителя с 25 до 15°C может быть накоплено порядка $3,8 \text{ ГДж}$ холода за сезон, что составляет 130

т.у.т. и позволяет снизить среднюю температуру панели до 20°C .

КПД солнечной панели определяется зависимостью [8]

$$\eta = \eta_0 [1 - 0,0045 \cdot (T_p - 25)], \quad (5)$$

где η – КПД солнечной панели, %; η_0 – КПД солнечной панели при температуре 25°C , %; T_p – температура поверхности солнечной панели, $^\circ\text{C}$.

Измеренные значения температуры поверхности ФЭП [9] показали, что в солнечные дни в зимнее время температура поверхности достигает до 40°C , а в летнее время до 70°C . Таким образом снижение температуры солнечной панели до 25°C в соответствии с (5) дает относительное увеличение КПД ФЭП на 7–20%.

Заключение. Предложенная в статье методика позволяет рассчитывать потенциал сезонного аккумулирования холода при работе ФЭП в ночное время для южных регионов РФ.

Работа ФЭП в ночное время и использование солнечных электростанций для сезонного аккумулирования холода значительно расширяют их возможности и целесообразность использования в народном хозяйстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Исследования эффективности солнечной энергетики в Крымском Федеральном Округе* / М.М. Амирханов, Е.А. Наумов, И.Н. Стаценко [и др.] // Россия: тенденции и перспективы развития. Ежегодник. Вып. 11 / Отв. ред. В.И. Герасимов, Д.В. Ефременко. М.: РАН. ИНИОН. Отд. науч. сотрудничества, 2016. Ч. 1. С. 317–322.

2. *Казанцев Т.В.* Российский и мировой рынок солнечной энергетики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ladogapark.ru/content/2011/03/110322184517/110322184517110322184538.pdf>. (дата обращения: 06.11.2017).

3. *Степанова Е.Ю.* Рынок солнечной энергетики в России: состояние и перспективы // Энерго- и ресурсосбережение – XXI век: сборник материалов X междунар. науч.-практ. Интернет-конф. (г. Орел, 01 марта – 30 июня 2012 г.). Орел: Госуниверситет-УНПК, 2012. С. 303–307.

4. *Дологлонян А.В., Сухов А.К.* Работа солнечного коллектора в «ночном режиме» // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2016. № 3 (317) 2016 – № 4 (318) 2016. С. 95–102.

5. *Дологлонян А.В., Сухов А.К.* Работа каскадной солнечной водонагревательной установки в «ночном режиме» // *Системы контроля окружающей среды*. Севастополь: ИПТС, 2016. Вып. 5 (25). С. 119–125.

6. *Погода по месяцам* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://pogoda.turtella.ru/Crimea/Sevastopol/monthly/](http://www.url:https://pogoda.turtella.ru/Crimea/Sevastopol/monthly/) (дата обращения: 18.04.17).

7. *Дологлонян А.В., Сухов А.К.* Исследование потенциала сезонного аккумулирования холода при работе солнечных коллекторов в ночное время // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2017. № 5 (325) 2017. С. 172–176.

8. *Джумаев А.Я.* Анализ влияния температуры на рабочий режим фотоэлектрической солнечной станции // *Технические науки – от теории к практике: сб. статей по матер. XLVI междунар. науч.-практ. конф. (г. Новосибирск, 27 мая 2015 г.)*. Новосибирск: СибАК, 2015. № 5 (42). С. 33–40.

9. *Сафонов В.А.* Исследование температурного состояния солнечной электростанции ООО «Энерджи Севастополь» / В.А. Сафонов, М.А. Низбудный, А.А. Восканян [и др.] // *Системы контроля окружающей среды*. Севастополь: ИПТС, 2016. Вып. 5 (25). С. 110–118.

RESEARCH OF POTENTIAL OF SEASONAL ACCUMULATION OF COLD DURING THE OPERATION OF PHOTOELECTRIC PANELS AT NIGHT

A.V. Dologlonyan, A.K. Sukhov, I.N. Stacenko

Institute of Natural and Technical Systems, Russian Federation, Sevastopol, Lenin St., 28

On the basis of model of work of solar collectors at nighttime an assessment of potential of seasonal accumulation of cold for different temperatures is given during the operation of the cooled photo-electric panels at night in the southern regions of the Russian Federation on the example of Sevastopol. Possibilities of seasonal accumulation of cold for increase in efficiency of solar photo-electric power plants are defined.

Keywords: cold accumulation, photoelectric panel, energy consumption.