

Д.С. Карпенко, аспирант, В.В. Дубровская, канд. техн. наук, доц.,
В.И. Шкляр, канд. техн. наук, доц.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ВОДЯНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ

Проведено компьютерное моделирование фотоэлектрической солнечной системы с охлаждением в программном обеспечении SolidWorks 2014. Выполнен регрессионный анализ и получены функциональные зависимости полезной тепловой и электрической мощностей, мощности привода насоса для подачи воды и энергетической характеристики системы от расхода охлаждающей воды. Определена суммарная полезная мощность системы при оптимальном расходе охлаждающей воды.

Ключевые слова: фотоэлектрическая солнечная система, фотоэлектрический элемент, система охлаждения, электрическая и тепловая мощность.

Введение.

Солнечный радиационный режим территории Украины, особенно южных районов, в целом является благоприятным для практического использования солнечной энергии. Высокий уровень солнечной инсоляции, повышенные требования к экологии способствуют развитию фотоэнергетики в Украине, которая становится серьезной альтернативой традиционной энергетике.

В настоящее время в составе фотоэлектрических систем наиболее широко используются кремниевые солнечные элементы, воспринимающие как прямую, так и рассеянную солнечную радиацию. Они могут успешно работать зимой и летом. Зимой снижение светового потока компенсируется увеличением КПД за счет снижения температуры фотоэлемента.

Вследствие потерь, обусловленных такими факторами, как нагрев фотоэлемента и отражение света, и тем, что некоторые фотоны не поглощаются полупроводником, теоретический предел КПД кремниевого солнечного элемента составляет около 28% [1]. Дополнительные потери внутри элемента приводят к тому, что реальный КПД значительно ниже теоретического.

Для уменьшения потерь мощности, обусловленных нагревом фотоэлектрических преобразователей (ФЭП), целесообразно использовать фотоэлектрические солнечные системы с охлаждением для комбинированного получения тепловой и электрической энергии.

В связи с растущими объемами выпуска ФЭП и широкого их использования потребителями, возникает необходимость определения характеристик таких систем в реальных условиях эксплуатации.

Цель и задачи.

Определить энергетические характеристики фотоэлектрической солнечной системы с охлаждением. Установить зависимости электрической и тепловой мощности от расхода охлаждающей воды в змеевике.

Материалы и результаты исследований.

Для достижения поставленной цели экспериментальные исследования ФЭП можно заменить процессом компьютерного моделирования фотоэлектрической солнечной системы с охлаждением.

Авторами в работе [2] на основании результатов математического моделирования фотоэлектрического модуля с системой охлаждения в программном обеспечении SolidWorks 2014 были определены оптимальные характеристики системы, а именно: форма, размер и расстояние между трубками в змеевике.

В данной статье рассматривается моделирование работы монокристаллического кремниевого ФЭП К6М [3] мощностью 4-4,5 Вт, имеющего форму полного квадрата с размерами $156 \times 156 \square 0,5$ мм, $ff=0,76$ и $\eta = 18,46$ % при стандартных условиях (поступление солнечной радиации на поверхность модуля под прямым углом - 1000 Вт/м²). Скорость ветра над и под фотоэлементами - $3,5$ м/с и температура окружающего воздуха - $15,2$ оС. Плоскость модуля размещалась параллельно горизонтальной поверхности. Система водяного охлаждения ФЭП представляла собой змеевик с трубками D-формы и эквивалентным диаметром трубок 20 мм с расстоянием между осями трубок $l = 26$ мм. Температура охлаждающей воды принималась $t_{ВХ} = 20$ оС, а массовый расход G изменялся от $0,001$ кг/с до 1 кг/с. Фотоэлемент размещался на алюминиевой пластине толщиной $\square ПЛ = 2$ мм, под которой крепился змеевик с охлаждающей водой.

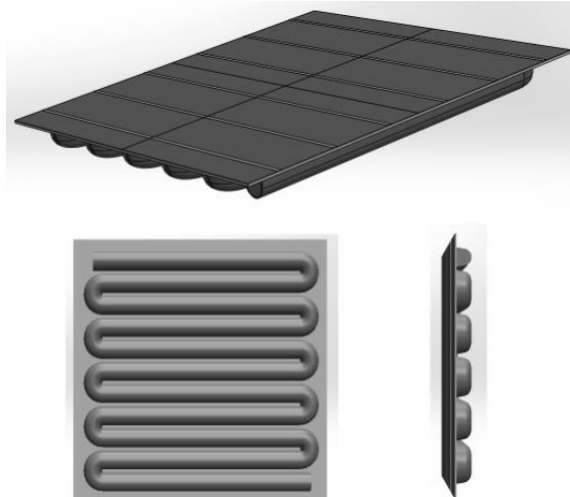


Рисунок 1 – Конструкция системы охлаждения ФЭП

Вырабатываемая электрическая мощность фотоэлектрической установки $P_{П}$ рассчитывалась по формуле [4]:

$$P_{П} = E \cdot S \cdot \eta_{СМ}, \quad (1)$$

где E – плотность потока солнечной энергии, Вт/м², S – площадь поверхности ФЭП, м², $\eta_{СМ}$ – КПД солнечного модуля [5].

Полезная тепловая мощность $Q_{П}$ рассчитывалась из теплового баланса:

$$Q_{П} = G \cdot c \cdot (t_{ВЫХ} - t_{ВХ}), \quad (2)$$

где G – массовый расход охлаждаемой воды, кг/с, c – теплоемкость воды, кДж/(кг·К), $t_{ВХ}$, $t_{ВЫХ}$ – температуры воды на входе и выходе змеевика, °С.

Электрическая мощность на привод насоса – $P_{Н}$ определялась по формуле:

$$P_{Н} = \frac{G \cdot (P_1 - P_2)}{\eta_{Н} \cdot \eta_{ДВ}}, \quad (3)$$

где $P_1 - P_2$ – перепад давлений на входе и на выходе насоса, Па. При моделировании учитывались гидравлические потери в элементах конструкции змеевика.

$\eta_{Н}$ – КПД насоса, принимается $\eta_{Н} = 0,78$;

$\eta_{ДВ}$ – КПД электродвигателя, принимается $\eta_{ДВ} = 0,85$.

На основе результатов моделирования построены зависимости полезной тепловой и электрической мощностей, мощности привода насоса для подачи воды и энергетической характеристики (суммарной мощности) системы от расхода охлаждающей воды (рис. 2-5).

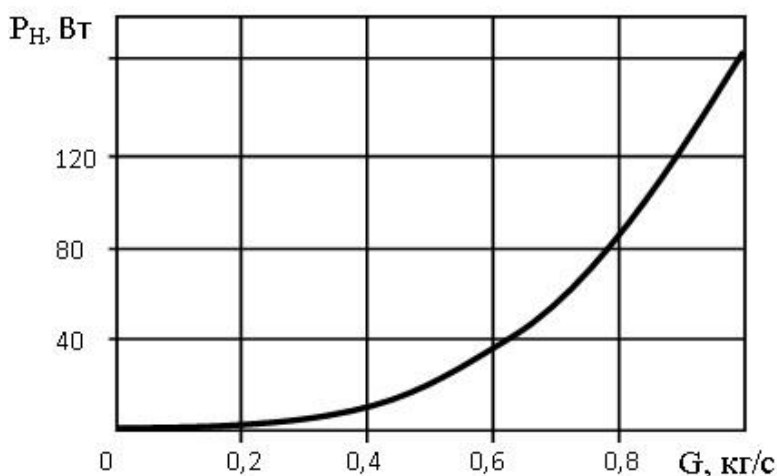


Рисунок 2 – Зависимость мощности привода насоса от массового расхода воды

Из рисунков видно, что охлаждение поверхности ФЭП водой позволяет увеличить полезную электрическую мощность ФЭП с 17,5 Вт (без охлаждения) до 19 Вт.

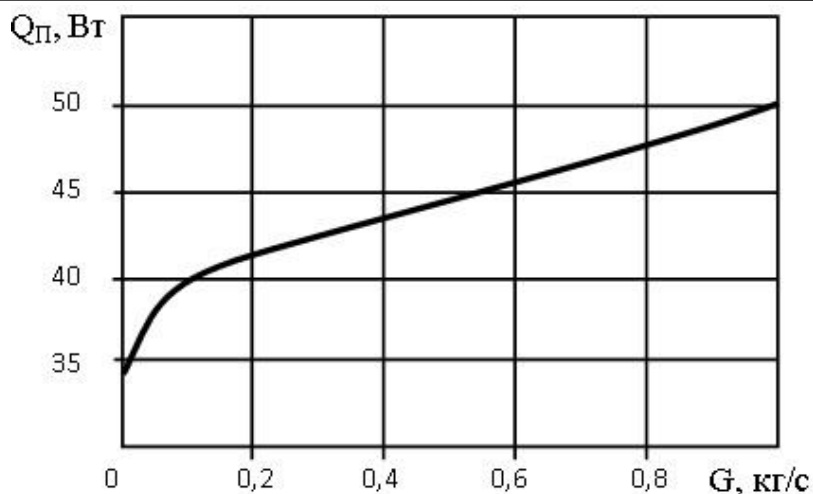


Рисунок 3 – Зависимость полученной полезной тепловой энергии от массового расхода воды

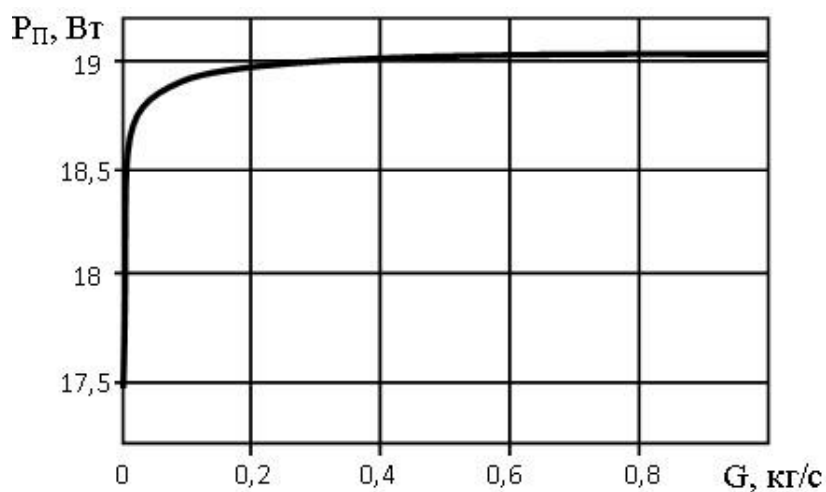


Рисунок 4 – Зависимость полученной полезной электрической энергии от массового расхода воды

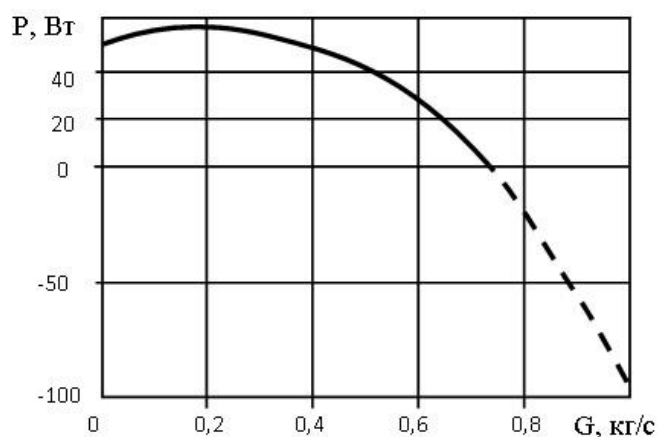


Рисунок 5 – Энергетическая характеристика установки с охлаждением фотоэлементов

На основе рассчитанных данных о величинах тепловой и электрической мощностей и затрат на привод насоса проведен регрессионный анализ и получены функциональные зависимости вышеназванных величин от массового расхода воды в змеевике:

- зависимость полезной электрической мощности системы от массового расхода воды:

$$P_{п} = 0,1821 \cdot \ln(G) + 19,244 \quad (r^2 = 0,7674); \quad (4)$$

- зависимость тепловой мощности системы от массового расхода воды:

$$Q_{II} = -11,451 \cdot G^2 + 24,708 \cdot G + 36,188 \quad (r^2 = 0,9471); \quad (5)$$

- зависимость мощности привода насоса для системы охлаждения от массового расхода воды:

$$P_H = 162,25 \cdot G^3 + 5,4325 \cdot G^2 - 0,6384 \cdot G + 0,0096 \quad (r^2 = 1). \quad (6)$$

Суммарная мощность системы равна:

$$P = P_{II} + Q_{II} - P_H, \quad (7)$$

$$P = 0,1821 \cdot \ln(G) - 162,25 \cdot G^3 - 16,8835 \cdot G^2 + 25,3464 \cdot G + 55,4224. \quad (8)$$

По результатам моделирования экстремум функции $P=f(G)$ (8) в диапазоне массовых расходов $G = [0 - 1]$ кг/с соответствует значению $P = 58,23$ Вт при $G = 0,2$ кг/с.

В точке экстремума отдельные составляющие энергетического баланса системы равны: $P_{II} = 18,95$ Вт, $Q_{II} = 40,68$ Вт, $P_H = 1,4$ Вт.

Выводы.

Выполнено численное моделирование работы ФЭП с охлаждением его поверхности в программном обеспечении SolidWorks 2014 и определены энергетические характеристики системы.

Получены зависимости (4-6, 8) электрической и тепловой мощности фотоэлектрической системы, мощности привода насоса системы охлаждения, суммарной мощности системы от массового расхода воды в змеевике на основе регрессионного анализа.

Максимальная суммарная мощность фотоэлектрической солнечной системы с охлаждением равна 58,23 Вт при расходе охлаждающей воды 0,2 кг/с, электрическая мощность составляет 18,95 Вт, тепловая - 40,68 Вт, привода насоса - 1,4 Вт.

Список литературы

1. NREL: National Center for photovoltaics: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.jpg.
2. Аналіз ефективності фотоелектричних систем комунального призначення. Енергетика. Екологія. Людина. Наукові праці НТУУ «КПІ», ІЕЕ. – Київ: НТУУ «КПІ», ІЕЕ, 2015. С. 337-344.
3. KVAZAR // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kvazar.com>.
4. Photovoltaic Efficiency: The Temperature effect : [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.teachengineering.org/collection/cub/_lessons/cub_pveff/Attachments/cub_pveff_lesson02_fundamentalsarticle_v6_tedl_dwc.pdf.
5. Photovoltaic Education Network: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/iv-curve>.

D.S. Karpenko, V.V. Dubrovskaya, V.I. Shklyar

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"

ENERGY EFFICIENCY OF PHOTOVOLTAIC SYSTEM WITH WATER COOLING

Computer simulation of photovoltaic solar system with cooling in SolidWorks 2014 was carried. Regression analysis was performed and the functional dependences for the useful heat and electric power, drive power of the pump for water flow, and energy characteristics of the system from the flow of cooling water were obtained. The total net system capacity at optimum flow of cooling water was determined.

Keywords: photovoltaic solar system, photovoltaic cell, cooling system, electric and heat power.

References

1. NREL: National Center for photovoltaics: [electronic journal]. – Available at: http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.jpg.
2. The analysis of efficiency photovoltaic system municipal purpose. Energetika, Ekologhiia Liudyna. Naukovi pratsi NTUU "KPI", IEE. – Kyiv: NTUU "KPI", IEE, 2015. S. 337-344.
3. KVAZAR // [electronic journal]. – Available at: <http://www.kvazar.com>.
4. Photovoltaic Efficiency: The Temperature effect: [electronic journal]. – Available at: https://www.teachengineering.org/collection/cub/_lessons/cub_pveff/Attachments/cub_pveff_lesson02_fundamentalsarticle_v6_tedl_dwc.pdf.
5. Photovoltaic Education Network: [electronic journal]. – Available at: <http://pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/iv-curve>.

Д.С. Карпенко, аспірант, В.В. Дубровська, канд. техн. наук, доц.

В.І. Шкляр, канд. техн. наук, доц.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ З
ВОДЯНИМ ОХОЛОДЖЕННЯМ

Проведено комп'ютерне моделювання фотоелектричної сонячної системи з охолодженням, в програмному забезпеченні SolidWorks 2014. Виконано регресійний аналіз, і отримані функціональні залежності корисної теплової та електричної потужностей, потужності приводу насоса для подачі води і енергетичної характеристики системи від витрати охолоджуючої води. Визначена сумарна корисна потужність системи при оптимальній витраті охолоджуючої води.

Ключові слова: фотоелектрична сонячна система, фотоелектричний елемент, система охолодження, електрична та тепла потужність.

Надійшла 22.02.2016

Received 22.02.2016

УДК 621.3:658:26

М.М. Шовкалюк, канд. техн. наук, доц.; І.О. Суходуб, канд. техн. наук, ст. викл.; О.О. Войналович
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

АНАЛІЗ ТЕПЛОВИХ ПОТОКІВ ЧЕРЕЗ ПІДЛОГУ ЗАЛЕЖНО
ВІД АРХІТЕКТУРНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ БУДІВЕЛЬ

В статті розглянуто актуальне питання аналізу теплових втрат через підлогу, за новими методиками розрахунку, впровадженими в Україні з урахуванням європейських вимог стосовно енергоефективності будівель. Розроблені математичні моделі для аналізу теплових потоків через підлогу різних типів та виконано оцінку впливу вагомих факторів на тепловий потік через огороження, що сполучаються з ґрунтом.

Ключові слова: теплові втрати, підлога, ґрунт, будівлі.

Вступ

Потенціал енергозбереження, за умови впровадження енергозберігаючих заходів згідно сучасних вимог [1] в будівлях, є суттєвим. Тому актуальним питанням є аналіз особливостей розрахунків тепловтрат через окремі огорожувальні конструкції. Останнім часом в Україні швидкими темпами розвивається нормативна база у сфері енергетики. Зокрема, було розроблено національну методику розрахунку [2] на базі стандарту [3] з урахуванням директиви ЄС [4]. Методики [2] дещо відрізняються від класичного теплотехнічного розрахунку та підходів, які використовувалися фахівцями України для визначення потреби будівель в енергії і теплових потоків через окремі огороження. Вивчення особливостей нових підходів до розрахунку теплоспоживання будівель є необхідним і актуальним завданням.

Мета та завдання

Метою дослідження є аналіз теплових втрат через огорожувальні конструкції, а саме – підлогу різних типів – на ґрунті, над підвалом, цокольне приміщення. В основу дослідження було покладено розгляд двох методичних підходів до розрахунку тепловтрат через підлогу: теплотехнічний розрахунок [5] і методика за європейським стандартом [3]. Розроблені математичні моделі дозволять виконати аналіз впливу архітектурних особливостей будівель на теплові потоки через огороження, що сполучаються з ґрунтом.

Матеріал і результати досліджень

Головною відмінністю двох методичних підходів, які розглядаються, є те, що згідно з класичною методикою [5] для визначення втрат теплоти через підлогу на ґрунті виконується спрощений розрахунок, який не включає багато параметрів.

Наприклад, втрати теплоти через підлогу, розташовану на ґрунті, підраховуються по зонах з урахуванням відстані зон від зовнішніх стін:

$$Q = \left(\frac{F_1}{R_1} + \frac{F_2}{R_2} + \frac{F_3}{R_3} + \frac{F_4}{R_4} \right) \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{зовн}})$$

де R_1, R_2, R_3, R_4 - термічний опір відповідно першої, другої, третьої і четвертої зон,

$t_{\text{вн}}, t_{\text{зовн}}$ - відповідно температури внутрішнього та зовнішнього повітря.