

В. Г. Ильичев¹, Р. Г. Джамбеков², А. В. Рыбаков²

**ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ И УПРАВЛЯЮЩАЯ
ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ СИСТЕМА ВОДЯНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ
ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ**

¹ Астраханский государственный университет им. В. Н. Татищева

² ООО «Выксунский металлургический завод»

vova201428@yandex.ru, ravil-200@mail.ru, rybakov_alex@mail.ru

Автор, ответственный за переписку:

Владимир Геннадьевич Ильичев, vova201428@yandex.ru

Коэффициент полезного действия фотоэлектрических модулей (ФЭМ) снижается с ростом температуры, поэтому проблема охлаждения фотоэлектрических модулей для жарких регионов является актуальной. Существующие системы охлаждения в основном имеют управление лишь по отклонению температуры модуля от заданного значения, иные метеорологические факторы не учитываются.

В данной работе авторами предложена информационно-измерительная и управляющая система водяным охлаждением фотоэлектрических модулей, в которой управляющие воздействия будут вырабатываться с учетом не только температуры модуля, но и с учетом температуры окружающей среды, скорости ветра, солнечной радиации, тока и напряжения нагрузки.

Разработана структурная схема информационно-измерительной и управляющей энергосберегающей системы охлаждения фотоэлектрических модулей, отражающая состав основных ее компонентов, принципиальная схема системы и алгоритм работы, информационно-измерительная и управляющая энергосберегающая система водяного охлаждения ФЭМ.

Ключевые слова: фотоэлектрический модуль, температура фотоэлектрического модуля, коэффициент полезного действия, информационно-измерительная и управляющая система, водяное охлаждение, контроллер, алгоритм, эффективность фотоэлектрических модулей, энергосберегающая система

V. G. Ilichev¹, R. G. Dzhambekov², A. V. Rybakov²

**INFORMATION-MEASURING AND CONTROL ENERGY-SAVING
WATER COOLING SYSTEM FOR PHOTOVOLTAIC MODULES**

¹ Astrakhan State University named after V. N. Tatishchev

² Vyksa Metallurgical Plant LLC

The efficiency of photovoltaic modules decreases with increasing temperature, so the problem of cooling photovoltaic modules for hot regions is relevant. The existing cooling systems are mainly controlled only by the deviation of the module temperature from the set value, other meteorological factors are not taken into account.

In this paper, the authors propose an information-measuring and control system for water cooling of photovoltaic modules, in which the control effects will be generated taking into account not only the temperature of the module, but also taking into account ambient temperature, wind speed, solar radiation, current and load voltage.

A block diagram of an information-measuring and control energy-saving cooling system for photovoltaic modules has been developed, reflecting the composition of its main components, a schematic diagram of the system and an algorithm for an information-measuring and control energy-saving water cooling system photovoltaic modules.

Keywords: photovoltaic module, temperature of the photovoltaic module, efficiency, information measuring and control system, water cooling, controller, algorithm, efficiency of photovoltaic modules, energy-saving system

Введение

Коэффициент полезного действия фотоэлектрических модулей снижается с ростом температуры, поэтому проблема охлаждения фотоэлектрических модулей для жарких регионов является актуальной [1].

Принято выделять две группы методов охлаждения фотоэлектрических модулей: активное и пассивное охлаждение [2]–[17].

Как для пассивных, так и для активных систем охлаждения обычно используются охлаждающие среды – воздух и вода. Воздушное охлаждение, описанное в работах [3; 5; 7–10], плохо подходит для извлечения тепловой энергии из фотоэлектрического модуля в жарких регионах. Водяное охлаждение, описанное в работах [2; 4; 6; 11–17], позволяет работать при гораздо более высоких температурах и более эффективно использовать рекуперацию отработанного тепла. Следовательно, водяное охлаждение во многих случаях является более выгодным вариантом.

Для автоматизации системы водяного охлаждения фотоэлектрических модулей используются различные подходы. Один из наиболее простых способов – это использование контроллера для управления работой насоса и других компонентов системы на основе данных о температуре ФЭМ. Контроллер подключен к датчикам температуры, которые передают информацию о температуре модулей в реальном времени. На основе этой информации контроллер автоматически производит включение и отключение подачи охлаждающей жидкости, чтобы обеспечить оптимальное охлаждение и повысить эффективность фотоэлектрических модулей.

Согласно алгоритму, предложенному в работе [19], температура датчика, установленного на ФЭМ сравнивается с установленной (заданной) температурой. Если температура датчика больше установленной (заданной) температуры, контроллер подает управляющие сигналы на схему управления двигателя насоса с заданным значением времени. Система управления и схема, описанная в работе [19], показали свою достаточную эффективность. Однако стоит отметить, что управление в этой системе идет лишь по отклонению температуры модуля от заданного значения, иные метеорологические факторы не учитываются.

Анализ представленных работ показывает, что тренд на внедрение систем охлаждения фотоэлектрических модулей постепенно развивается. При разработке системы автоматизированного охлаждения ФЭМ необходимо учитывать ряд переменчивых погодных факторов, а именно: солнечную радиацию, облачность, пыль, ветер, давление, температуру и влажность окружающей среды. Более того, на наш взгляд, при проектировании систем охлаждения фотоэлектрических модулей надо также принимать во внимание изменение температуры солнечной ячейки в зависимости от тока нагрузки. Согласно исследованиям, проведенным авторами настоящей статьи [20], при подключении к фотоэлектрическому модулю нагрузки, соответствующей точке максимальной мощности, в дневное время суток наблюдалось возрастание температуры тыльной стороны модуля на 10 градусов.

В настоящем исследовании была поставлена задача разработки автоматизированной системы водяного охлаждения ФЭМ, в которой

управляющие воздействия будут вырабатываться с учетом не только температуры модуля, но и с учетом температуры окружающей среды, скорости ветра, солнечной радиации, тока нагрузки, напряжения. Разработка автоматизированной системы водяного охлаждения начинается с выбора датчиков тока, напряжения, температуры, скорости ветра, солнечной радиации.

Структурная схема информационно-измерительной и управляющей энергосберегающей системы водяного охлаждения ФЭМ

В настоящей статье разработана информационно-измерительная и управляющая энергосберегающая система водяного охлаждения ФЭМ, в которой управляющие воздействия вы-

рабатываются не только с учетом температуры модуля, но и с учетом температуры окружающей среды, скорости ветра, солнечной радиации, тока нагрузки, напряжения.

Структурная схема информационно-измерительной и управляющей энергосберегающей системы охлаждения фотоэлектрических модулей отражает состав основных компонентов: фотоэлектрический модуль, электрическая нагрузка, датчики электрических величин (тока и напряжения нагрузки), датчики показателей внешней окружающей среды (температура окружающей среды, скорость ветра, солнечная радиация), датчик температуры тыльной стороны ФЭМ, контроллер и насос для подачи хладагента (рис. 1).

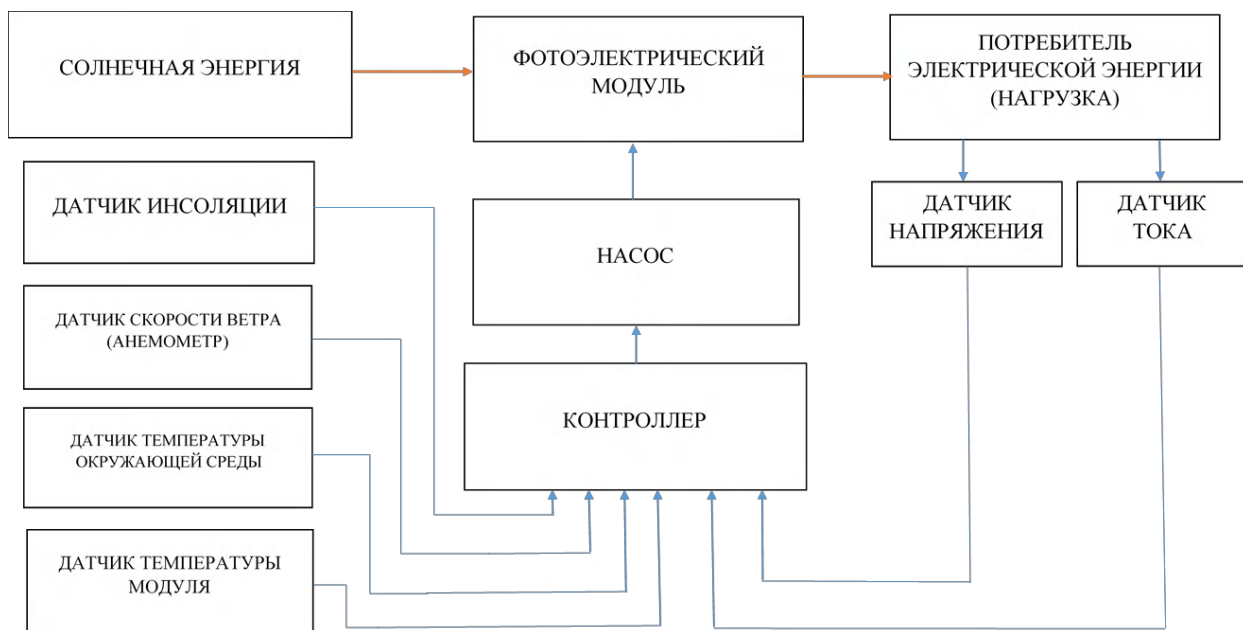


Рис. 1. Структурная схема информационно-измерительной и управляющей энергосберегающей системы охлаждения фотоэлектрических модулей

Принципиальная схема информационно-измерительной и управляющей энергосберегающей системы охлаждения фотоэлектрических модулей

Разработана принципиальная схема информационно-измерительной и управляющей энергосберегающей системы охлаждения фотоэлектрических модулей (рис. 2).

Состав схемы:

PV – фотоэлектрический модуль;

R – электрическая нагрузка;

A_1 – датчик тока;

V_1 – датчик напряжения;

dt_1 – датчик температуры модуля;

dt_2 – датчик температуры окружающей среды;

Q_1 – датчик скорости ветра;

Q_2 – датчик солнечной радиации;

C_1 – контроллер;

M_1 – насос;

k_1 – реле;

X_1 – шинная линия.

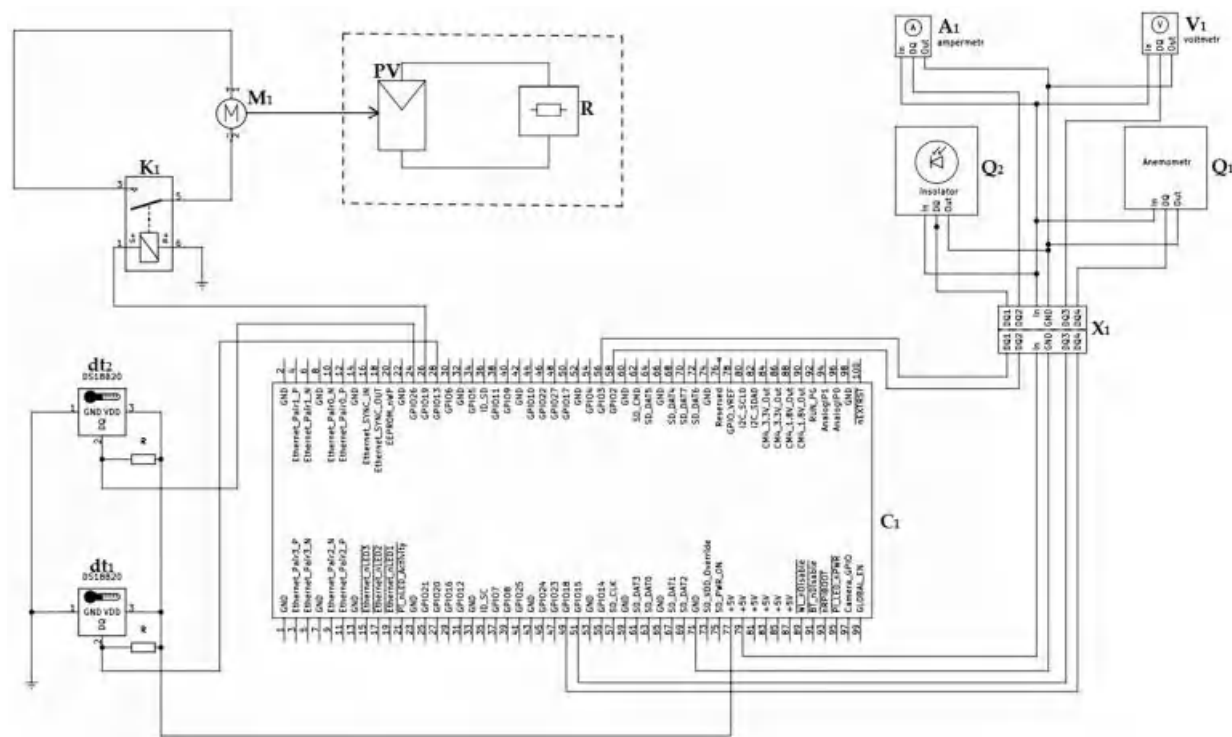


Рис. 2. Принципиальная схема автоматизированной системы водяного охлаждения фотоэлектрических модулей

Алгоритм работы информационно-измерительной и управляющей энергосберегающей системы охлаждения фотоэлектрических модулей

Разработка алгоритма работы информационно-измерительной и управляющей энергосберегающей системы охлаждения фотоэлектрических модулей требует учета различных условий и параметров, таких как температура окружающей среды, температура модулей, интенсивность солнечного излучения, ток нагрузки, напряжение, скорость ветра. Вот общие шаги для разработки такого алгоритма:

1. Сбор данных: Система должна собирать данные с датчиков интенсивности солнечного излучения, температуры модулей, температуры окружающей среды, скорости ветра, напряжения и тока нагрузки.

2. Анализ данных: Проведение анализа собранных данных, чтобы определить текущие условия эксплуатации и потребность в охлаждении модулей.

3. Принятие решений: На основе анализа данных система должна принимать решения о регулировании работы охладителей.

4. Управление охлаждением: Система должна эффективно управлять активными охладителями в зависимости от текущих условий и потребностей в охлаждении.

На рис. 3 представлена блок-схема алгоритма работы информационно-измерительной и управляющей энергосберегающей системы охлаждения фотоэлектрических модулей на примере модуля «Pramac 125».

В блок-схеме использованы следующие обозначения:

U_{xx} – напряжение холостого хода, В;

$I_{кз}$ – ток короткого замыкания, А;

I_{MPP} – ток в точке максимальной мощности, А;

U_{MPP} – напряжение в точке максимальной мощности, В;

$T_{мод}$ – температура тыльной стороны фотоэлектрического модуля, °С;

$T_{зад}$ – заданная температура модуля, °С;

$T_{гран}$ – граничная температура модуля «Pramac-125»;

V – скорость ветра, м/с;

$V_{зад}$ – заданная скорость ветра, м/с.

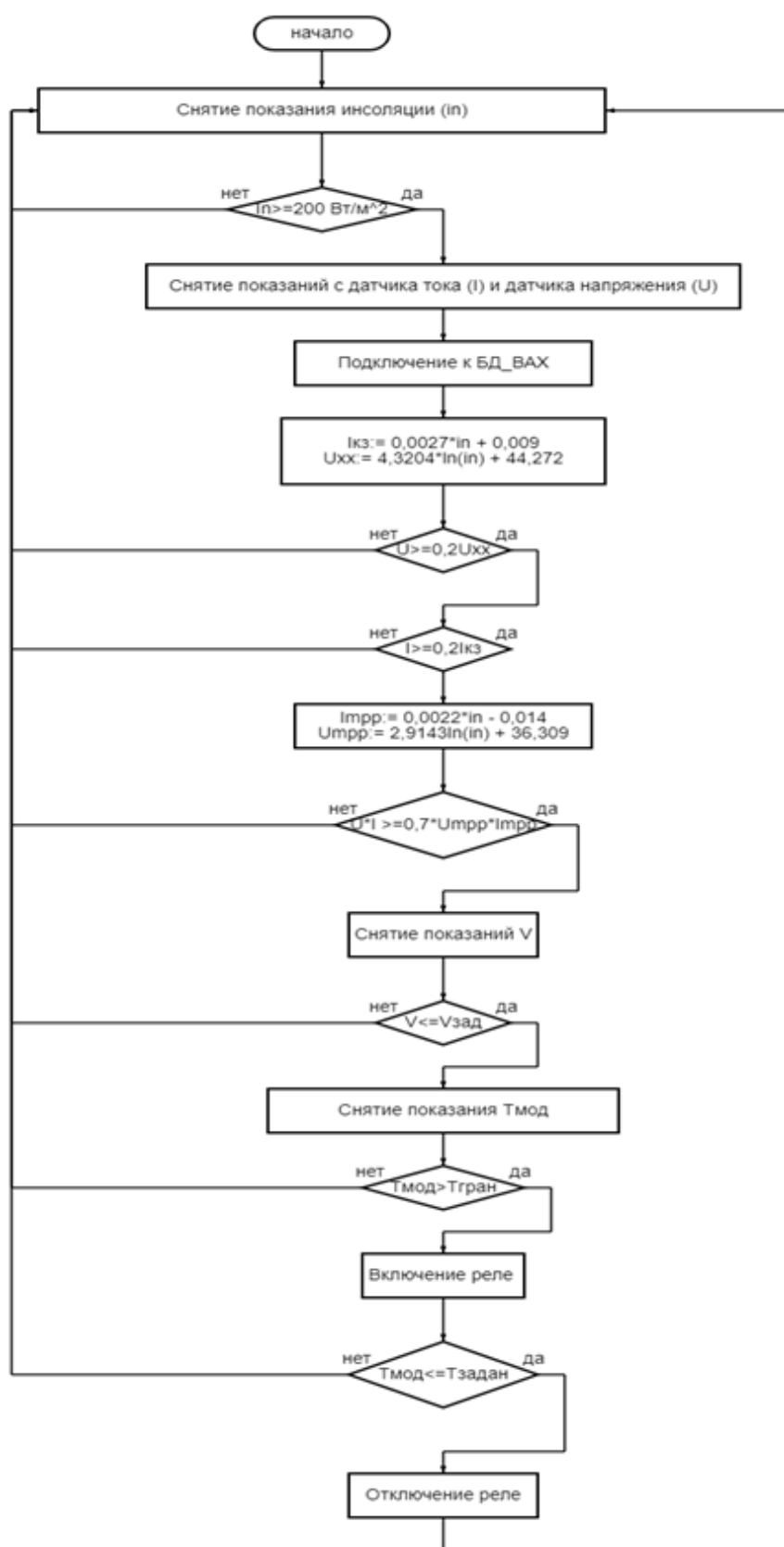


Рис. 3. Блок-схема алгоритма работы информационно-измерительной и управляющей энергосберегающей системы охлаждения ФЭМ на примере модуля «Primas 125»

В начале алгоритма происходит снятие показаний с датчика солнечной радиации. Если солнечная радиация принимает значение менее 200 Вт/м^2 , охлаждение фотоэлектрического модуля производить нерационально, так как выработки, получаемой от фотоэлектрического

модуля, либо нет, либо она минимальна. Паспортные данные вольтамперных характеристик фотоэлектрического модуля «Pramac 125» при солнечных радиациях ($200\text{--}1000 \text{ Вт/м}^2$) приведены в таблице.

Паспортные данные вольт-амперных характеристик фотоэлектрического модуля «Pramac 125» при солнечных радиациях ($200\text{--}1000 \text{ Вт/м}^2$)

$I_n, \text{ Вт/м}^2$	$T_{\text{мод}}, ^\circ\text{C}$	$I_{\text{МРР}}, \text{ А}$	$U_{\text{МРР}}, \text{ В}$	$I_{\text{кз}}, \text{ А}$	$U_{\text{хх}}, \text{ В}$
1000	25	2,21	56,6	2,71	74,1
800	25	1,79	55,5	2,19	73
600	25	1,3	55	1,61	72,1
400	25	0,89	53,9	1,1	70,2
200	25	0,43	51,7	0,55	67,1

Допустим, величина солнечной радиации в текущий момент равна 1000 Вт/м^2 , тогда мы работаем с массивом данных вольт-амперной характеристики $I_n = 1000 \text{ Вт/м}^2$, взятой из паспортных данных модуля.

Далее происходит снятие показаний с датчика тока I и датчика напряжения U .

Если измеренное напряжение U находится в диапазоне $U \geq 0,2 \cdot U_{\text{хх}}$, в нашем случае для солнечной радиации $I_n = 1000 \text{ Вт/м}^2$ напряжение холостого хода $U_{\text{хх}} = 74,1 \text{ В}$, то

$$U \geq 0,2 \cdot 74,1 = 14,82.$$

Переходим к снятию значений силы тока.

Если измеренное значение силы тока находится в диапазоне $I \geq 0,2 \cdot I_{\text{кз}}$, в нашем случае для солнечной радиации $I_n = 1000 \text{ Вт/м}^2$ ток короткого замыкания $I_{\text{кз}} = 2,71 \text{ А}$, то

$$I \geq 0,2 \cdot 2,71 = 0,542.$$

Получаем рабочую область для дальнейшей работы с модулем (на ВАХ для 1000 Вт/м^2 выделена фоном) (рис. 4).

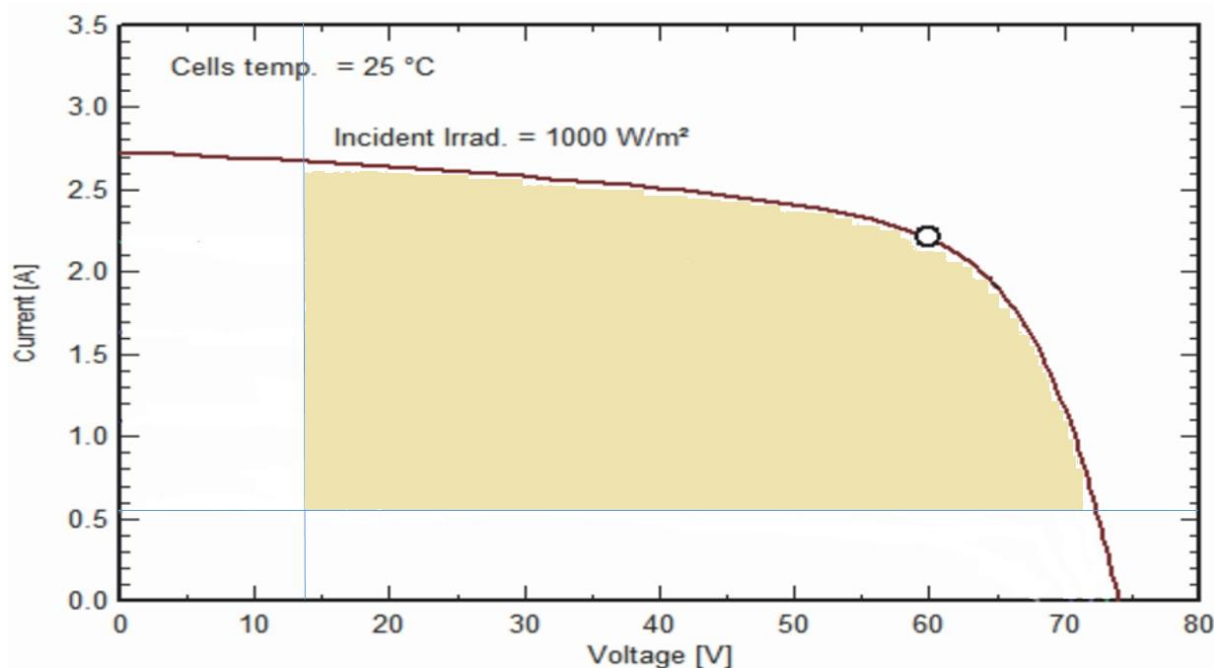


Рис. 4. Рабочая область вольт-амперной характеристики ФЭМ «Pramac-125», при солнечной радиации $I_n = 1000 \text{ Вт/м}^2$

Следующим шагом осуществляется ввод силы тока в точке максимальной мощности (I_{MPP}) и напряжения в точке максимальной мощности (U_{MPP}), соответствующей ВАХ (Для ВАХ при 1000 Вт/м^2 $I_{MPP} = 2,21 \text{ А}$, $U_{MPP} = 56,6 \text{ В}$).

Далее происходит сравнение произведения снятых ранее напряжения U и силы тока I и произведения введенных силы тока в точке максимальной мощности (I_{MPP}) и напряжения в точке максимальной мощности (U_{MPP}) соответствующей ВАХ.

Если произведение снятых значений напряжения и тока принимает значение:

$$U \cdot I \geq 0,7 \cdot I_{MPP} \cdot U_{MPP}$$

В нашем случае для солнечной радиации $I_n = 1000 \text{ Вт/м}^2$:

$$U \cdot I \geq 0,7 (2,21 \cdot 56,6) = 87,56$$

Тогда переходим к снятию показаний датчика ветра V . Ветер является естественным теплоотводом для фотоэлектрических модулей, поэтому при высокой скорости ветра водяное охлаждение будет излишним. Кроме того, ветер может привести к частичному разбрызгиванию воды помимо поверхности ФЭМ.

Если скорость ветра меньше заданной скорости $V \leq V_{\text{зад}}$, тогда переходим к снятию показаний с датчика температуры тыльной стороны модуля.

Если температура модуля превышает значения 45°C (Ранее нами на основании изучения литературы и проведения ряда экспериментов было принято считать температуру фотоэлектрического модуля «Pramac-125», равную 45°C граничной для целей охлаждения), $T_{\text{мод}} > 45$, тогда происходит включение реле для подачи охлаждающей жидкости. Отключение реле происходит после того, как температура модуля становится меньше заданной температуры (рационально принимать не ниже температуры окружающей среды):

$$T_{\text{мод}} \leq T_{\text{зад}}$$

Затем цикл повторяется.

Если текущее значение солнечной инсоляции принимает некоторые промежуточные значения, отличающиеся от значений, приведенных в таблице, тогда соответствующие значения: U_{xx} , I_{xz} , U_{MPP} , I_{MPP} следует брать из приведенных ниже графиков

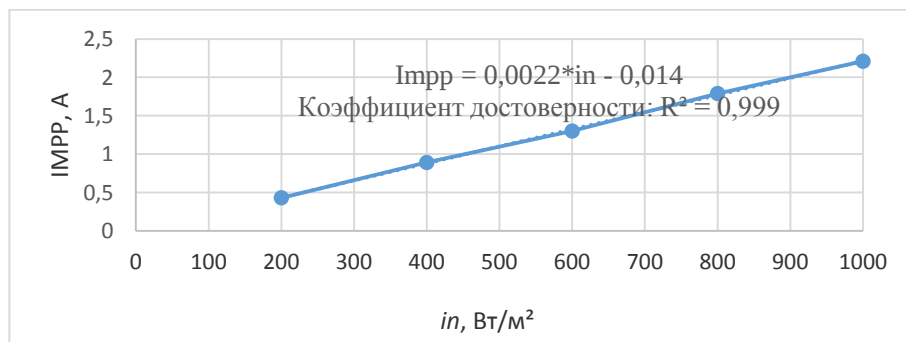


Рис. 5. Зависимость силы тока в точке максимальной мощности от солнечной радиации для фотоэлектрического модуля «Pramac 125»

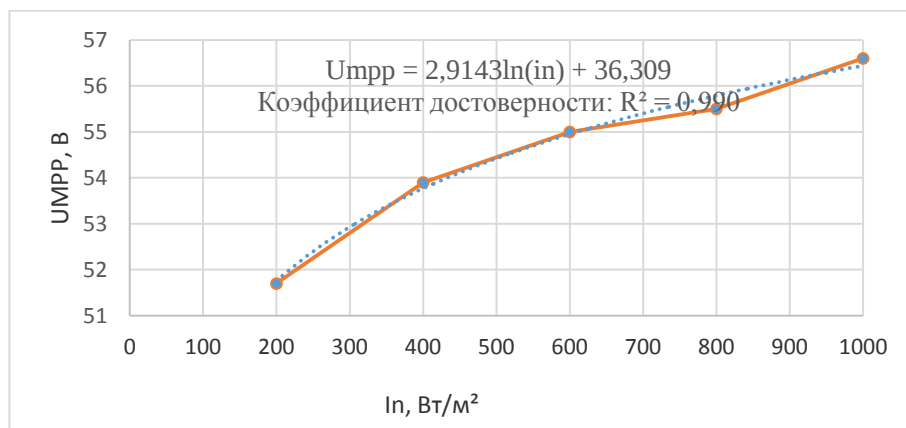


Рис. 6. Зависимость напряжения в точке максимальной мощности от солнечной радиации для фотоэлектрического модуля «Pramac 125»

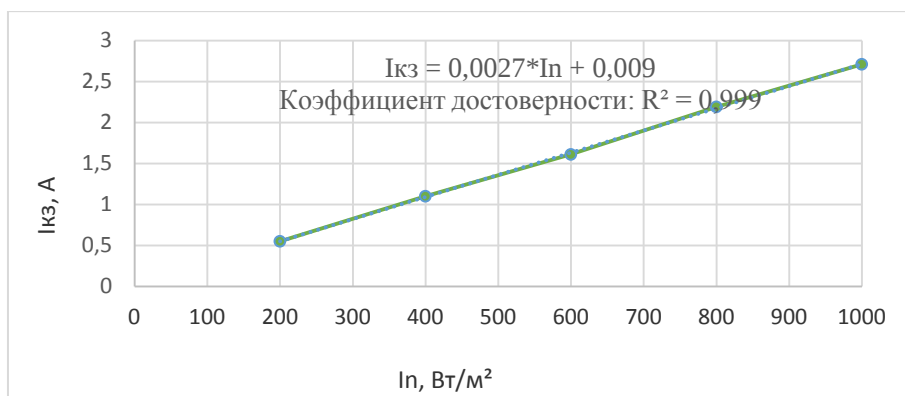


Рис. 7. Зависимость тока короткого замыкания от солнечной радиации для фотоэлектрического модуля «Primas 125»

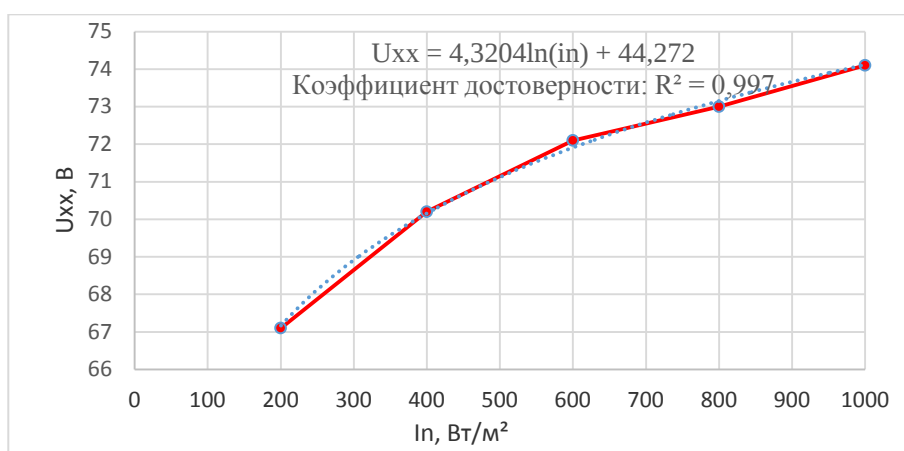


Рис. 8. Зависимость напряжения холостого хода от солнечной радиации для фотоэлектрического модуля «Primas 125»

Заключение

Выявлено, что на сегодняшний момент существуют пассивные и активные системы охлаждения ФЭМ. Однако известные системы зачастую являются системами с ручным управлением, а также учитывают лишь малую часть метеорологических факторов, влияющих на снижение выработки ФЭМ.

В связи с этим в данной работе авторами впервые предложена информационно-измерительная и управляющая энергосберегающая система водяного охлаждения ФЭМ, в которой управляющие воздействия вырабатываются не только с учетом температуры модуля, но и с учетом температуры окружающей среды, скорости ветра, солнечной радиации, тока нагрузки, напряжения.

Представлены структурная и принципиальные схемы. Разработан алгоритм работы информационно-измерительной и управляющей энергосберегающей системы охлаждения фотоэлектрических модулей.

Разработанная информационно-измерительная и управляющая система водяного охлаждения ФЭМ имеет следующие преимущества.

Адаптивность к изменяющимся условиям: система способна адаптироваться к изменяющимся условиям окружающей среды и потребностям нагрузки модулей, регулируя работу охлаждения в реальном времени.

Безопасность: обеспечивается безопасность работы модулей, предотвращается перегрев модулей за счет своевременного включения охлаждения.

Энергосбережение: затраты энергии на охлаждение уменьшены за счет исключения работы охладителей при холостом ходе и малых нагрузках ФЭМ.

В климатических условиях юга России водяное охлаждение фотоэлектрических модулей вполне эффективно и может обеспечивать существенное повышение выходной мощности (порядка 15–20 %). Соответственно, для солнечных электростанций средней и большой

мощности, эксплуатирующихся в климатических условиях юга России, использование водяного охлаждения становится целесообразным и может дать существенное приращение абсолютных значений выработки электроэнергии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Bijjargi, Y. S. Kale S. S., Shaikh K. A.*, Cooling techniques for photovoltaic module for improving its conversion efficiency: a review. July–Aug 2016. – Volume 7. – Issue 4. – Pp. 22–28. Article ID: IJMET_07_04_003. Available online at – <http://iaeme.com/Home/issue/IJMET?Volume=7&Issue=4>.
2. *Mehrotra, S. Rawat P., Debbarma M., Sudhakar K.* Performance of a solar panel with water immersion cooling technique // *International Journal of Science, Environment ISSN 2278-3687 (O) and Technology.* – 2014. – Vol. 3. – № 3. – Pp. 1161–1172. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.11.155>.
3. *Gotmare, J. A. Borkar D. S., Hatwar P. R.* Experimental Investigation of PV Panel with Fin Cooling Under Natural Convection // *International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science.* Volume No.03, Special Issue No. 02, February 2015. <https://www.semanticscholar.org/paper/EXPERIMENTAL-INVESTIGATION-OF-PV-PANEL-WITH-FIN-Gotmare-Borkar/9ee5360c79cd9274d077dcdc54712>.
4. *Chandrasekar, M., Senthilkumar T.* Passive thermal regulation of flat PV modules by coupling the mechanisms of evaporative and fin cooling / *Heat Mass Tran.*, 52 (7) (2016). – Pp. 1381–1391 T. Nehari, M. Benlakam, D. Nehari, 60 (2016). DOI: 10.1007/s00231-015-1661-9. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84939423942&origin=inward-&txGid=4aaa913434016c39a0c44b6d49184af2>.
5. *Nehari, Taieb, Benlakam Mohamed, Nehari Driss* Effect of the Fins Length for the Passive Cooling of the Photovoltaic Panels // *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering.* 60(2). – Pp. 89–95, 2016 <https://doi.org/10.3311/PPme.8571>.
6. *Patil, M. Sidramappa A., Angadi R.,* Experimental Investigation of Enhancing the Energy Conversion Efficiency of Solar PV Cell by Water Cooling Mechanism // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* – 2018. – Vol. 376. – P. 14. DOI 10.1088/1757-899X/376/1/012014. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/376/1/012014/meta>. DOI 10.1088/1757-899X/376/1/012014.
7. *Ibtisam Ahmed Hasan, Iman Saleh Kareem, Duha Adil Attar.* Effect of Evaporative Cooling Combined with Heat Sink on PV Module Performance / *Journal of University of Babylon for Engineering Sciences / Electro mechanical Engineering Department University of Technology Baghdad, Iraq.* – Vol. (27), No. (2): 2019. – Pp. 252–254. DOI:10.13140/RG.2.2.23413.42728 https://www.researchgate.net/publication/33367591_Effect_of_Evaporative_Cooling_Combined_with_Heat_Sink_on_PV_Module_Performance.
8. *Krutika Bansod, Mayuri Garmale, Pooja O. Tiwari, Snehal Dhore, Rupesh Sangrame.* Thermoelectric Effect Based Temperature Controlled Photovoltaic System / 4th National Conference on Advances in Engineering and Applied Science Organized by : Anjuman College of Engineering and Technology (ACET) Nagpur, Maharashtra, India, In association with International Journal of Scientific Research in Science and Technology / Electrical Department, GHRIET, Nagpur, Maharashtra, India, 2020 IJSRST | Volume 5 | Issue 7 | Print ISSN : 2395-6011 | Online ISSN: 2395-602X, pp. 154–161. <https://www.ijrst.com/IJSRST205737>.
9. *Farhana, Z. Irwan Y. M., Azimmi R. M. N., Razliana A. R. N., Gomesh N.,* Experimental investigation of photovoltaic modules cooling system // 2012 IEEE Symposium on Computers & Informatics (ISCI). IEEE, (2012) DOI: 10.1109/ISCI.2012.6222687 <https://ieeexplore.ieee.org/document/6222687>.
10. *Ameri M., Mahmoudabadi M. M., Shahsavari A.,* An Experimental Study on a Photovoltaic/Thermal (PV/T) Air Collector with Direct Coupling of Fans and Panels // *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects* 34(10):929-947 (2012). DOI:10.1080/15567031003735238. https://www.researchgate.net/publication/254304160_An_Experimental_Study_on_a_PhotovoltaicThermal_PVT_Air_Collector_with_Direct_Coupling_of_Fans_and_Panels.
11. *Bahaidarah H., Subhan A., Gandhidasan P., Rehman S.,* Performance evaluation of a PV (photovoltaic) module by back surface water cooling for hot climatic conditions // *Energy.* Volume 59, 15 September 2013, Pages 445-453 <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.07.050>.
12. *Nizetic S., Coko D., Yadav A., Grubišić-Fabo F.,* Water spray cooling technique applied on a photovoltaic panel: The performance response // *Energy Conversion and Management* 108:287-296, January 2016. DOI:10.1016/j.enconman.2015.10.079. https://www.researchgate.net/publication/284355729_Water_spray_cooling_technique_applied_on_a_photovoltaic_panel_The_performance_response.
13. *Abu Syed Keron, Abu Bakkar Sikder, Sama-E-Shan, Dil Afroz Zerin and Dr. Bodius Salam.* Fabrication and Experimental Analysis of Solar Panel Water Cooling System / *Proceedings of the International Conference on Mechanical Engineering and Renewable Energy 2017 (ICMERE2017)* 18–20 December, 2017, Chittagong, Bangladesh. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.10.043>.
14. *Abdul Quddus, Faizullah Khan, Fazal Muhammad, Muhammad Waleed Raza, Surat Khan, Imran Qureshi.* Performance Evaluation and Enhancement of Solar PV Panels / *International Journal of Scientific & Engineering Research* Volume 9, Issue 2, February-2018. <https://www.researchgate.net/publication/374087371>.
15. *B. A. Supian, C. Ekaputri and W. Priharti.* Increasing the output power of solar panel by using cooling system / *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 830 (2020) 032039 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/830/3/032039. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/830/3/032039>.
16. *Vicky Andria Kusuma, Happy Aprilia, Sena Sukmananda Suprpto, Muhammad Nizhom Ramadhani, Aji Akbar Firdaus, Dimas Fajar Uman Putra.* Analysis of the effect of a microcontroller-based solar panel cooling system on temperature and power output / *International Journal of Applied Power Engineering (IJAPE)* Vol. 12, No. 2, June 2023, pp. 119-125 ISSN: 2252-8792, DOI: 10.11591/ijape.v12.i2. <https://www.researchgate.net/publication/370944048>.
17. *Gatot Setyono, Navik Kholili, Yanuariza Rakhmadanu.* The Impact of Utilization The Solar-Panels With a Cooling-Water System as a Source of Micro-Power Generation / *Jurnal Infotekmesin* Vol.13, No.01, pp.87-92. Januari 2022 p-ISSN: 2087-1627, e-ISSN: 2685-9858 DOI: 10.35970/infotekmesin.v13i1.1001, <https://www.researchgate.net/publication/358423652>.
18. *Benato A., Stoppato, A.* An Experimental Investigation of a Novel Low-Cost Photovoltaic Panel Active Cooling System. *Energies.* 2019;12(8):1448. <https://doi.org/10.3390/en12081448>.

19. *Л. В. Тханг, А. В. Щагин, Н. С. Кыонг, Т. Х. Нгуен.* Построение и моделирование контроллера системы водяного охлаждения для фотоэлектрических модулей: Некоторые первые результаты // *European Journal of Renewable Energy*. – 2019. – Т. 1, № 4. – С. 3–11. – DOI 10.13187/ejre.2019.1.3. – EDN OOXZLY.

20. *Зайнутдинова, Л. Х., Ильичев В. Г., Джамбеков Р. Г.*

Экспериментальное исследование нагрева фотоэлектрического модуля Pramac-125. Физико-химические проблемы возобновляемой энергетики: сборник трудов российской конференции, 21-23 ноября 2022 г., Санкт-Петербург. Санкт-Петербург: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022 С. 99–100. ISBN 978-5-7422-7926-6. – Режим доступа: <https://doi.org/10.18720/SPBPU/2/id22-248>.