



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2020-18-3-57-62>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 681.58

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ МОБИЛЬНОЙ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ*

САВЁЛОВ П.И., ЛИВШИЦ Ю.Е.

Белорусский национальный технический университет (г. Минск, Республика Беларусь)

Поступила в редакцию 12 марта 2020

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2020

Аннотация. Цель работы – разработка конструкции мобильной солнечной электростанции с автоматическим двухосевым позиционированием солнечных элементов. Разработан алгоритм функционирования мобильной солнечной электростанции. Спроектирована конструкция блока управления системой позиционирования солнечных элементов. Исследования и разработка твердотельной модели мобильной солнечной электростанции выполнялись при помощи системы автоматизированного проектирования SolidWorks. Оптимизация конструкции солнечной электростанции проводилась при помощи компьютерных инженерных исследований. Оптимизация конструкции деталей выполнялась методом генеративного проектирования. Оптимизация компоновки блока управления выполнялась по результатам исследований тепловых процессов, происходящих при установленном режиме функционирования, при помощи исследовательского модуля Flow Simulation SolidWorks. Установлено, что естественное воздушное охлаждение электронного блока управления мобильной солнечной электростанции, при данной компоновке элементов, является оптимальным и достаточным для обеспечения его эксплуатации в климатической зоне В1. Конструктивное исполнение корпуса блока управления обеспечивает степень защиты IP 66. Исследовано влияние ветровой нагрузки на прочностные характеристики несущих конструкций. Установлены зоны повышенного давления, турбулентности, величина эквивалентных напряжений и деформаций в несущих конструкциях при воздействии ветра скоростью до 8 баллов (15 м/с) по шкале Бофорта. Определены конструктивное исполнение и материалы несущих конструкций мобильной солнечной электростанции с учетом обеспечения минимальных массогабаритных параметров, прочностных характеристик и удобства транспортировки. При помощи генеративного проектирования проведен топологический анализ несущих элементов мобильной солнечной электростанции, что позволило снизить их массу на 30 %, сохранив при этом необходимую расчетную прочность.

Ключевые слова: солнечная электростанция, метод конечных элементов, тепловой режим, ветровая нагрузка, генеративное проектирование, инженерное исследование.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Савёлов П.И., Лившиц Ю.Е. Разработка конструкции мобильной солнечной электростанции. Доклады БГУИР. 2020; 18(3): 57-62.

* Статья рекомендована для опубликования организационным комитетом Белорусско-Китайского конкурса научно-технического творчества студентов (г. Минск, 22 ноября – 27 декабря 2019 г.).

DEVELOPMENT OF THE DESIGN OF MOBILE SOLAR POWER PLANT

PAVEL I. SAVELOV, YURIY E. LIVSHIC

Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Submitted 12 March 2020

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2020

Abstract. The purpose of the work is to develop the design of a mobile solar power plant with automatic biaxial positioning of solar cells. The authors have developed the algorithm for the operation of a mobile solar power plant and the design of the control unit for the solar cell positioning system. Research and development of a solid-state model of the mobile solar power plant were done using the SolidWorks computer-aided design system. The design optimization for the solar power plant was carried out using computer engineering research. The design optimization of the parts was carried out by the method of generative design. Optimization of the control unit layout was carried out according to the results of studying the thermal processes that occur during steady-state operation using the Flow Simulation SolidWorks research module. It is established that the natural air cooling of the electronic control unit of the mobile solar power plant with this arrangement of elements is optimal and sufficient to ensure its operation in climatic zone B1. The design of the control unit housing ensures IP66 protection. The effect of wind load on the strength characteristics of load-bearing structures has been investigated. The research has established pressurized and turbulence zones, the value of equivalent stresses and deformations in load-bearing structures when exposed to wind speeds of up to 8 points (15 m/s) on the Beaufort scale. The design and materials of the supporting structures of the mobile solar power plant are determined taking into account minimum weight and dimensions, strength characteristics and ease of transportation. Using generative design, a topological analysis of the load-bearing elements of the mobile solar power plant was carried out, which allowed the reduction of their mass by 30 % while maintaining the required design strength.

Keywords: solar power plant, finite element method, thermal regime, wind load, generative design, engineering research.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

For citation. Savelov P.I, Livshic Y.E. Development of the design of mobile solar power plant. Doklady BGUIR. 2020; 18(3): 57-62.

Введение

В настоящее время происходит интенсивное развитие альтернативных источников энергии. Одним из самых перспективных является солнечная энергетика. Использование солнечной энергии характеризуется экологической чистотой, простотой использования, а количество солнечной энергии, поступающей на поверхность земли за неделю, превышает энергию всех разведанных полезных ископаемых, применяемых для генерации электрической энергии [1]. Главным преимуществом солнечной энергетики является повсеместное распространение и доступность источника излучения, что позволяет рассматривать солнечные элементы как самый удобный способ снабжения электрической энергией районов без собственной энергосети.

Развертывание стационарной солнечной электростанции занимает слишком много времени. Но существуют ситуации, которые требуют обеспечения экстренного энергоснабжения. Наиболее распространенными являются мобильные электростанции на основе двигателей внутреннего сгорания. Однако в некоторых случаях их применение ограничено, например, при отсутствии возможности доставки топлива, ограничениями по величине шума, выбросов отработанных газов в атмосферу и т. д. Поэтому использование

*The manuscript has been recommended for publication by the Organizing Committee of the Belarusian-Chinese Competition of Scientific and Technical Creativity of Students (Minsk, November 22 - December 27, 2019).

мобильной солнечной электростанции является оптимальным вариантом. Основным недостатком солнечной энергетики является непостоянство во времени плотности энергетических потоков, применение дорогостоящего оборудования для преобразования и аккумулирования энергии, невысокого коэффициента полезного действия (КПД) солнечных батарей. Максимальное КПД солнечной батареи достигается при ее инсоляции под углом 90° к поверхности преобразователя солнечной энергии [2]. Для поддержания оптимального угла инсоляции солнечных батарей можно использовать устройства позиционирования, что позволяет повысить эффективность солнечной электростанции в 1,2–1,3 раза [3].

Целью данной работы является разработка мобильной солнечной электростанции (МСЭ) с автоматическим двухосевым позиционированием солнечных элементов.

Методика проведения эксперимента

Разработка конструкции и конструкторской документации МСЭ производилась при помощи системы твердотельного моделирования SolidWorks и САПР AutoCad Mechanical.

Компьютерные исследования тепловых режимов функционирования блока управления и ветровой устойчивости МСЭ проводились методом конечных элементов при помощи CAE модуля SolidWorks Flow Simulation.

Оптимизация несущих конструкций осуществлялась методом генеративного проектирования.

Результаты и их обсуждение

Для разработки технических решений при конструировании МСЭ разработан алгоритм ее функционирования. Принцип функционирования МСЭ следующий:

- после установки МСЭ на место эксплуатации автоматически, при помощи установленного в блок управления GPS ГЛОНАСС модуля, определяется ее географическое местоположение;
- автоматически определяется ориентирование относительно сторон света при помощи электронного компаса;
- МСЭ автоматически приводится в рабочее положение при помощи электрических актуаторов;
- запускается режим слежения за положением солнца на небесной сфере в зависимости от географических координат;
- круглосуточно осуществляется контроль параметров окружающей среды (температуры, влажности, скорости ветра);
- при увеличении скорости ветра свыше 15 м/с МСЭ переходит в режим транспортировки (солнечные панели складываются в защитный корпус) для предотвращения повреждения солнечных элементов и конструкции в целом;
- при допустимой скорости ветра осуществляется выработка и накопление электроэнергии;
- после достижения солнцем линии горизонта МСЭ переходит в режим ожидания, а положение солнечных элементов переводится в положение, соответствующее восходу солнца следующего дня.

Одним из важных факторов, обеспечивающих надежную и бесперебойную работу электронного устройства, является соблюдение в процессе эксплуатации определенных тепловых режимов. Перегрев электронных компонентов вызывает нестабильную работу всей электрической системы устройств. Оптимизация компоновки выполнялась по результатам исследований тепловых процессов, происходящих при установившемся режиме функционирования в замкнутом пространстве корпуса электронного блока управления.

Для проведения исследований траектории тепловых потоков при естественном и принудительном воздушном охлаждении и выявления аэродинамических теней, в которых могут образовываться застойные зоны, разработана твердотельная модель электронного блока управления МСЭ. Критерием оптимизации правильности компоновки была выбрана

максимально допустимая температура эксплуатации электронных компонентов, которая не должна превышать 60 °С. Расположение электронных компонентов обусловлено технологичностью монтажа и технического обслуживания электронного блока управления МСЭ. Для упрощения компьютерных исследований расположение электрических соединителей и электрических проводов были исключены из расчета, так как места их установки не оказывают влияние на распространение воздушных и тепловых потоков.

На рис. 1, 2 представлены результаты компьютерных исследований тепловых процессов при установившемся режиме работы блока управления МСЭ (температура окружающей среды плюс 50 °С).

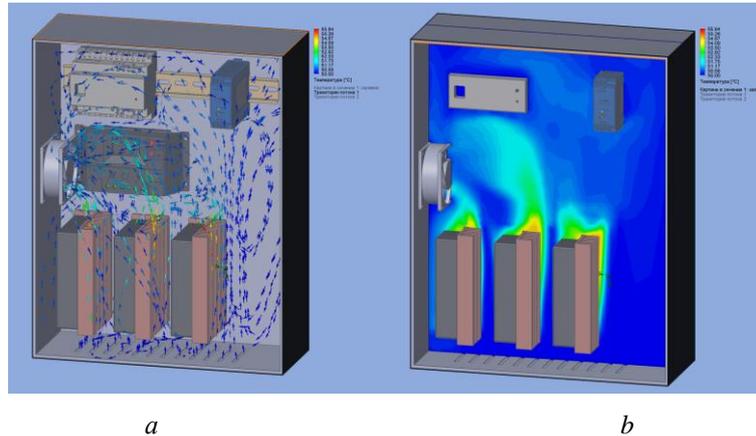


Рис. 1. Принудительное воздушное охлаждение электронного блока управления МСЭ: *a* – траектория воздушных потоков; *b* – распределение температурных полей охлаждающего потока воздуха
Fig. 1. Forced air cooling of the electronic control unit of MSE: *a* – the trajectory of air flows; *b* – distribution of temperature fields of cooling air flow

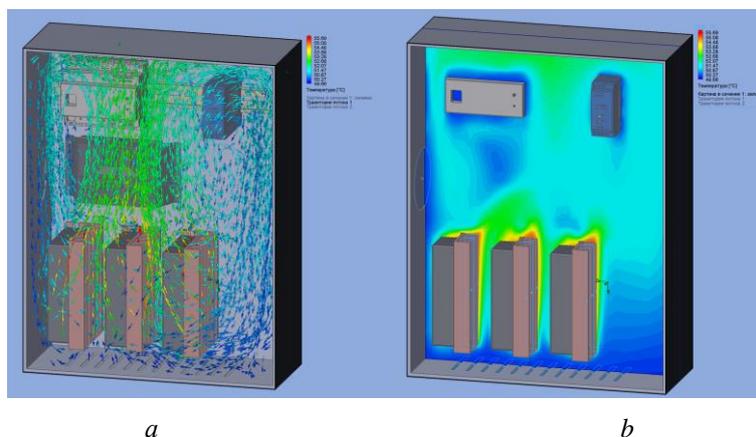


Рис. 2. Естественное воздушное охлаждение электронного блока управления МСЭ: *a* – траектория воздушных потоков; *b* – распределение температурных полей охлаждающего потока воздуха
Fig. 2. Natural air cooling of the electronic control unit of MSE: *a* – the trajectory of air flows; *b* – distribution of temperature fields of cooling air flow

Установлено, что при принудительном воздушном охлаждении потоком воздуха скоростью до 2 м/с максимальная температура потока не превышает 60 °С. Зон критического перегрева выявлено не было.

При естественном воздушном охлаждении максимальная температура конвективных потоков не превышает 60 °С. Поэтому достаточным является организация пассивного воздушного охлаждения блока управления МСЭ. Установлено, что траектория воздушных потоков при одностороннем расположении вентиляционных отверстий является оптимальной и обеспечивает равномерное распределение тепловых полей по всему объему блока управления.

Исследовано влияние ветровой нагрузки на прочностные характеристики несущих конструкций и устойчивость МСЭ. Определены зоны повышенного давления, турбулентности, величина эквивалентных напряжений и деформаций в несущих конструкциях при воздействии

ветра скоростью до 10 баллов по шкале Бофорта (рис. 3). Выявленные участки повышенного давления ($P = 275$ Па) на несущие конструкции позволили выработать технические решения, обеспечивающие безопасную работу при скорости ветра до 8 баллов по шкале Бофорта.

Определены конструктивное исполнение и материалы несущих конструкций МСЭ с учетом обеспечения минимальных массогабаритных параметров, прочностных характеристик и удобства транспортировки. При помощи генеративного проектирования проведен топологический анализ несущих элементов МСЭ (дополнительные опоры, мачта крепления солнечных батарей), что позволило снизить их массу на 30 %, сохранив при этом необходимую расчетную прочность (рис. 4).

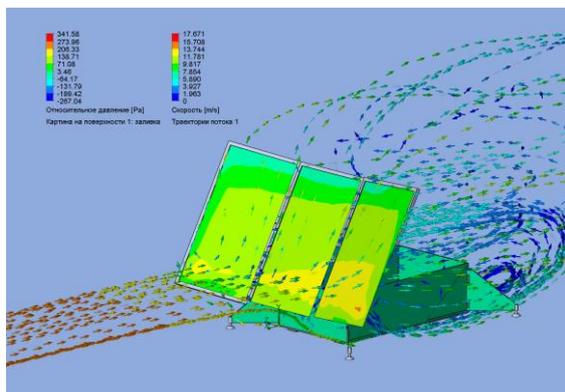


Рис. 3. Скорость и траектория ветровых потоков и создаваемое давление на конструкцию МСЭ

Fig. 3. The speed and trajectory of wind flows, and the pressure developed on the MSE

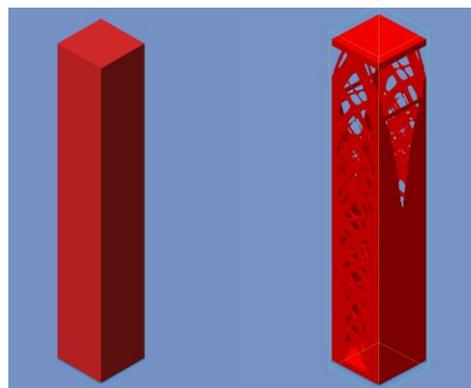


Рис. 4. Результат генеративного проектирования мачты крепления солнечных батарей

Fig. 4. Result of generative design of solar cell tower

Проведенные исследования позволили оптимизировать конструкцию МСЭ и обеспечить ее эксплуатацию в условиях, соответствующих климатическому исполнению В1 (по ГОСТ 15150-69) и степени защиты IP 66 (по ГОСТ 14254-2015). Твердотельная модель МСЭ представлена на рис. 5. Оборудованная тремя солнечными батареями (например, Sunway ФСМ-400М) МСЭ обеспечивает генерацию электрической энергии не менее 5000 Вт×ч.

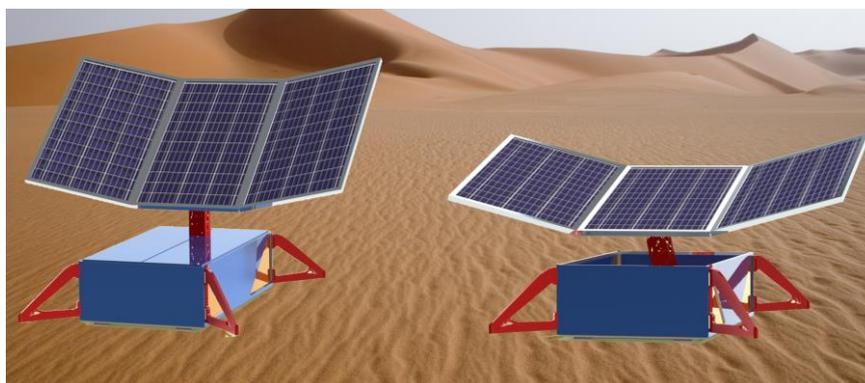


Рис. 5. Твердотельная модель мобильной солнечной электростанции

Fig. 5. Solid-state model of mobile solar power plant

Заключение

В результате выполнения работы разработана конструкция мобильной солнечной электростанции, обеспечивающая выработку электроэнергии при помощи возобновляемого источника энергии. Применение твердотельного моделирования позволяет оценить влияние условий эксплуатации на конструктивное исполнение разрабатываемого устройства и существенно снизить время поиска оптимума при выполнении компьютерных исследований.

Принятые технические решения и конструкция мобильной солнечной электростанции являются оригинальными и учитывают современные тенденции развития автоматизированного проектирования и производства.

Список литературы

1. Twidell J., Weir T. *Renewable Energy Resources*. London: Routledge London; 2015.
2. Германович В., Турилин А. *Альтернативные источники энергии*. СПб.: Наука и техника, 2011.
3. Durisch W., Struss O., Kai R. Efficiency of selected photovoltaic modules under varying climatic conditions. *Renewable energy – the energy for the 21st century: Proc. of VI World renewable energy congress*. Brighton, Great Britain, 2000: 779-788.

References

1. Twidell J., Weir T. *Renewable Energy Resources*. London: Routledge London; 2015.
2. Germanovich V., Turilin A. [*Alternative energy sources*]. St. Petersburg: Science and Technology, 2011. (In Russ.)
3. Durisch W., Struss O., Kai R. Efficiency of selected photovoltaic modules under varying climatic conditions *Renewable energy – the energy for the 21st century: Proc. of VI World renewable energy congress*. Brighton, Great Britain, 2000: 779-788.

Вклад авторов

Савёлов П.И. разработал твердотельную модель объекта исследований и конструкторскую документацию, проводил компьютерные исследования и интерпретацию результатов.

Лившиц Ю.Е. поставил задачи исследований, провел интерпретацию результатов.

Authors' contribution

Savelov P.I. has developed the solid-state model of the object of research and design documentation, conducted computer research and interpretation of the results.

Livshitz Y.E. has set out the research objectives and interpreted the results.

Сведения об авторах

Савёлов П.И., студент факультета информационных технологий и робототехники Белорусского национального технического университета.

Лившиц Ю.Е., к.т.н, доцент кафедры робототехнических систем Белорусского национального технического университета.

Information about the authors

Savelov P.I., student in the Faculty of Information Technology and Robotics of Belarusian National Technical University.

Livshic Y.E., PhD, Associate Professor of Robotic Systems Department of Belarusian National Technical University.

Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,
г. Минск, пр. Независимости, 65,
Белорусский национальный
технический университет
тел. +375-29-609-22-05;
e-mail: savelov2205@gmail.com
Савёлов Павел Игоревич

Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,
Minsk, Nezavisimosti ave., 65,
Belarusian National
Technical University
tel. +375-29-609-22-05;
e-mail: savelov2205@gmail.com
Savelov Pavel Igorevich