



УДК 620.91

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ПЛАНАРНОЙ СОЛНЕЧНОЙ ТЕПЛОФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ КРОВЕЛЬНОЙ ПАНЕЛИ В СИСТЕМЕ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА ANSYS

Панченко Владимир Анатольевич

кандидат технических наук, доцент

Российский университет транспорта, кафедра "Теоретическая и прикладная механика"
г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9, roat@miit.ru

Чирский Сергей Павлович

кандидат технических наук, доцент

МГТУ им. Н.Э. Баумана, кафедра "Поршневые двигатели", 2-ая Бауманская ул. 5, стр. 1
e2@bmstu.ru

Аннотация

В статье представлены результаты моделирования теплового состояния теплофотоэлектрического солнечного модуля в системе конечно-элементного анализа Ansys. Рассмотрены линии течения теплоносителя, скорость теплоносителя и тепловые поля различных компонентов солнечного теплофотоэлектрического модуля в виде кровельной панели. Полученные результаты позволят оптимизировать конструкцию модуля, исходя из приоритета электрической или тепловой эффективности солнечного модуля.

Ключевые слова: солнечная энергия, кровельная панель, теплофотоэлектрический модуль, моделирование, конечно-элементный анализ.

RESULTS OF THERMAL STATE SIMULATION OF THE PLANAR SOLAR PHOTOVOLTAIC THERMAL ROOFING PANEL IN ANSYS FINITE ELEMENT ANALYSIS SYSTEM

Vladimir A. Panchenko

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Russian University of Transport, Department of Theoretical and Applied Mechanics, Moscow,
Obraztsova st., 9, building 9, roat@miit.ru

Sergey P. Chirskiy

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

MSTU named after N.E. Bauman, Department of Piston Engines, 2nd Baumanskaya st., 5, building 1, e2@bmstu.ru

ABSTRACT

The article presents the results of modeling the thermal state of the photovoltaic thermal solar module in the Ansys finite element analysis system. The flow lines of the coolant, the velocity of the coolant and the thermal fields of various components of the solar photovoltaic thermal module in the form of a roofing panel are considered. The results obtained will make it possible to optimize the design of the module, based on the priority of electrical or thermal efficiency of the solar module.

Key words: solar energy, roofing panel, photovoltaic thermal module, modeling, finite element analysis.

Солнечные модули эволюционируют быстрыми темпами и при их проектировании возникает необходимость моделирования их тепловых состояний. Высокую общую эффективность показывают солнечные теплофотоэлектрические модули, которые могут быть как планарной, так и концентраторной конструкции, причём при использовании концентраторов солнечного излучения различных типов расчёт рабочего профиля является отдельной и сложной задачей [1 - 3].

С целью определения теплового состояния планарного теплофотоэлектрического модуля в виде кровельной панели (рисунок 1) разработана методика моделирования [4 - 6], реализуемая в системе конечно-элементного анализа Ansys [7].

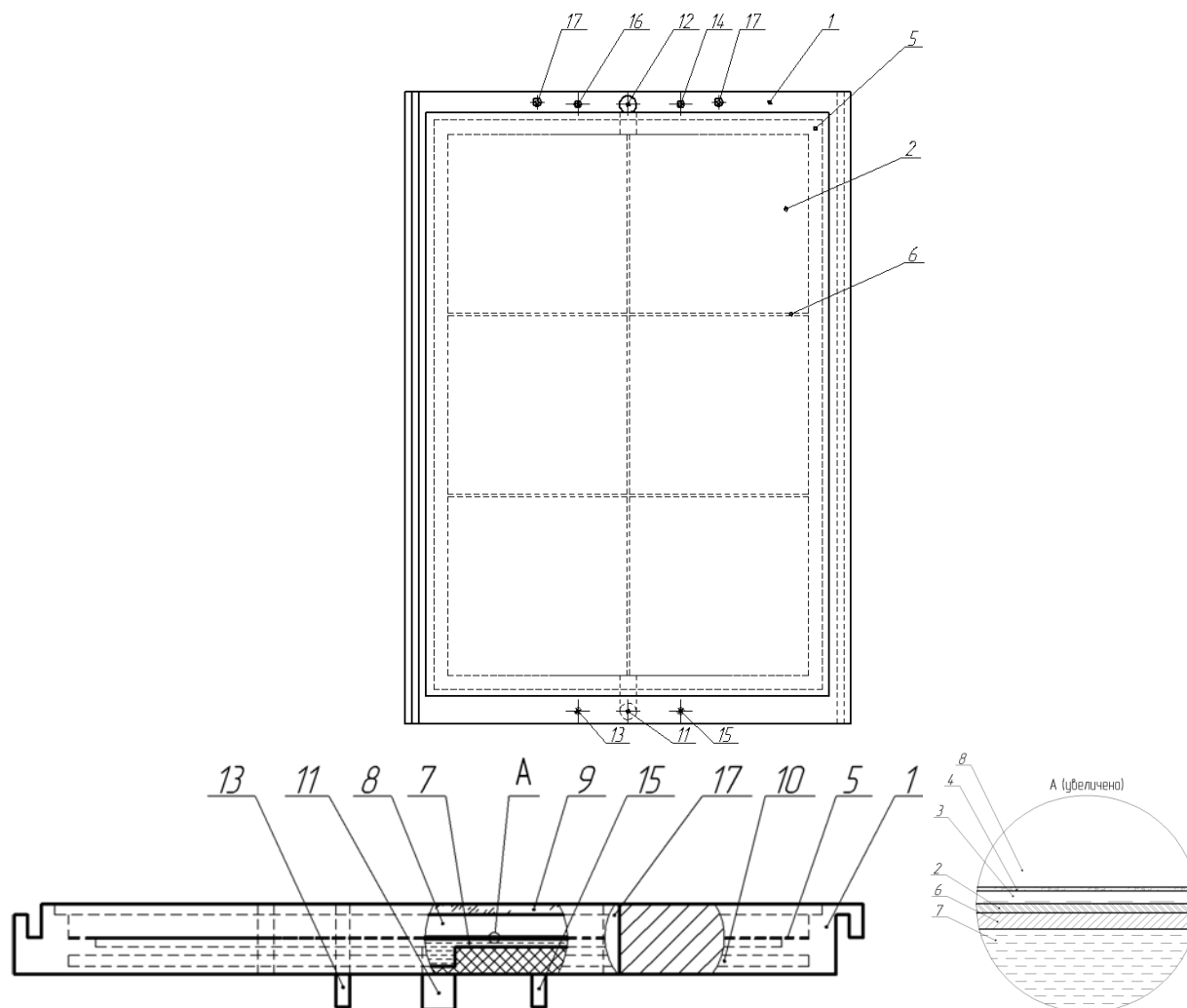


Рисунок 1. Планарная теплофотовольтовая кровельная панель: сверху – вид сверху, снизу – вид спереди и выносной элемент

В процессе моделирования были приняты следующие размеры – габаритный размер модуля вдоль линии между отверстиями – 400 мм, перпендикулярно линии между отверстиями – 272 мм. Предварительный расчет выполняется для части модуля: полоса шириной 40 мм и длиной, равной длине модуля. Размеры исследуемой области показаны на рисунке 2.

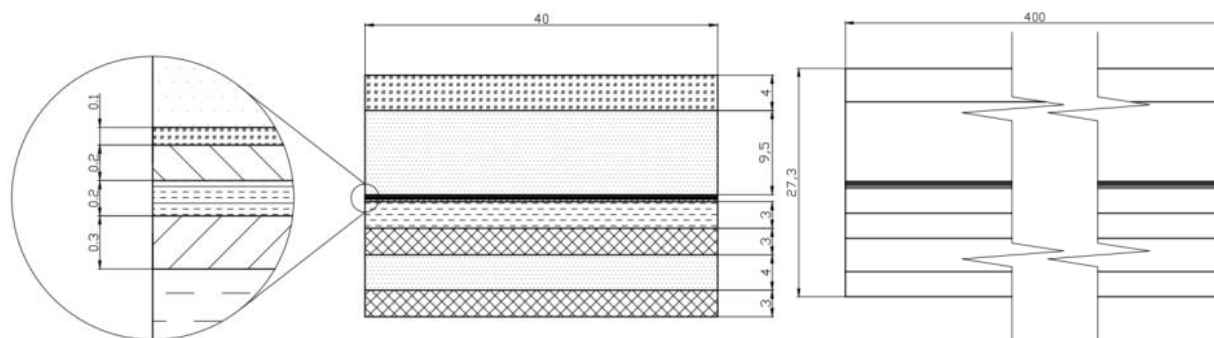


Рисунок 2. Расчетная область модели

Для рассматриваемой области исследуется влияние некоторых характеристик системы на максимальную температуру электрогенерирующего компонента. Изменяемые параметры: толщина газового зазора и массовый расход охлаждающего агента.

Эпюры температур для различных сочетаний изменяемых параметров приведены на рисунках ниже. Для толщины газового зазора 3 мм и массового расхода охлаждающей воды 0,0005 кг/с результаты моделирования приведены на рисунке 3.

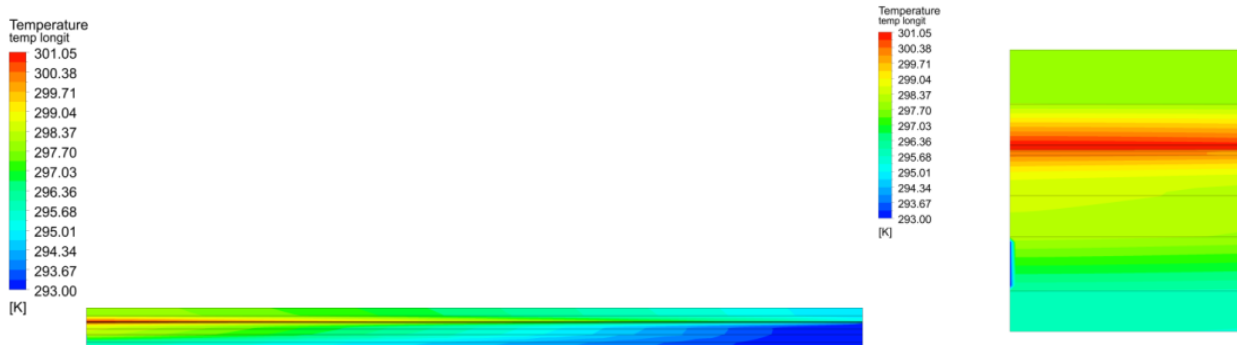


Рисунок 3. Результаты моделирования для газового зазора 3 мм и массового расхода теплоносителя 0,0005 кг/с

Для толщины газового зазора 5 мм и массового расхода охлаждающей воды 0,005 кг/с результаты моделирования приведены на рисунке 4.

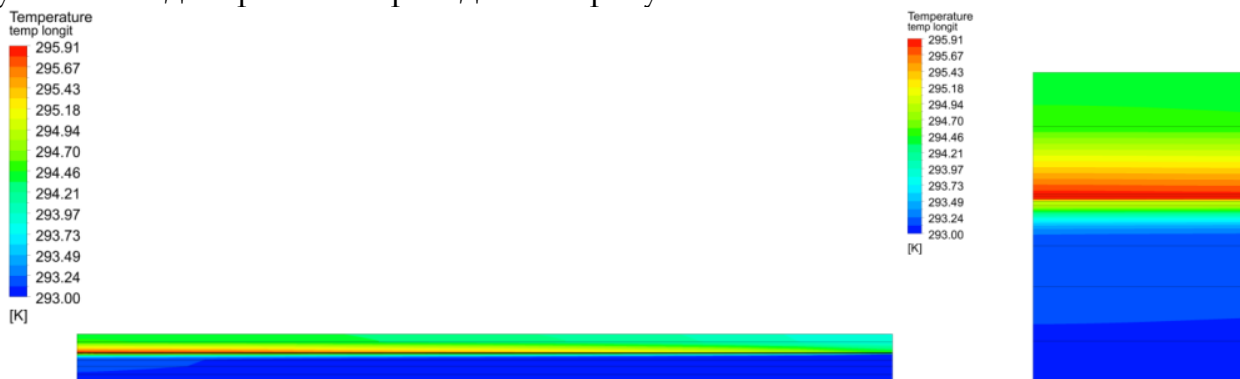


Рисунок 4. Результаты моделирования для газового зазора 5 мм и массового расхода теплоносителя 0,005 кг/с

Для толщины газового зазора 7 мм и массового расхода охлаждающей воды 0,05 кг/с результаты моделирования приведены на рисунке 5.

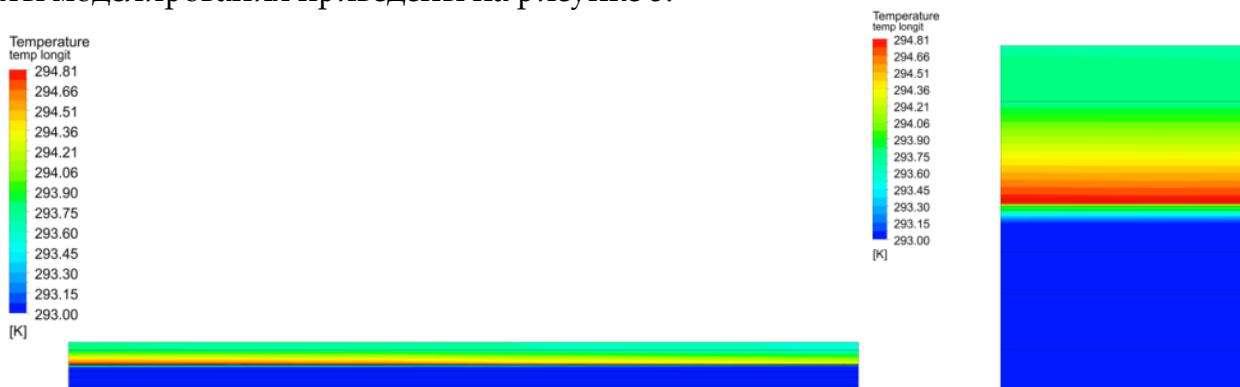


Рисунок 5. Результаты моделирования для газового зазора 7 мм и массового расхода теплоносителя 0,05 кг/с

Для толщины газового зазора 9 мм и массового расхода охлаждающей воды 0,05 кг/с результаты моделирования приведены на рисунке 6.



Рисунок 6. Результаты моделирования для газового зазора 9 мм и массового расхода теплоносителя 0,05 кг/с

Также рассмотрен вариант конструкции, в котором в качестве охлаждающего агента используется воздух с давлением, приблизительно равным атмосферному давлению. Для обеспечения большого массового расхода воздуха скорость его течения должна быть достаточно высокой. При подаче воздуха с плотностью ρ через отверстие с радиусом R со скоростью v массовый расход G можно оценить по формуле $G = v \cdot \pi \cdot R^2 \cdot \rho$. Например, подставив значения в представленную формулу, можно определить, что при течении со скоростью воздуха 100 м/с с плотностью 1,29 кг/м³ через отверстие с радиусом 0,006 м будет получен массовый расход воздуха 0,015 кг/с. Однако обеспечение подачи воздуха с такой скоростью сопряжено с рядом проблем. Устройство для подачи воздуха будет громоздким, на конструкцию модуля будут действовать большие нагрузки. Кроме того, могут возникать значительные газодинамические потери.

Далее выполнен расчет теплового состояния модуля при охлаждении модуля атмосферным воздухом. Рассмотрен вариант конструкции модуля с воздушным зазором с толщиной 5 мм. Массовый расход воздуха принят равным 0,01 кг/с. Результаты представлены на рисунке 7.



Рисунок 7. Эпюра температур при расходе воздуха 0,01 кг/с

Для массового расхода воздуха 0,001 кг/с, максимальная температура электрогенерирующего компонента составила 56 °С. Эпюра температур для этого случая показана на рисунке 8.

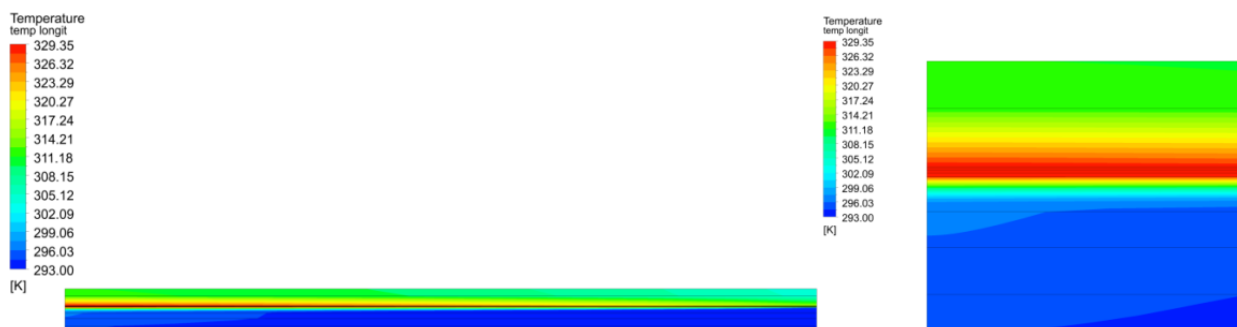


Рисунок 8. Этюра температур при расходе воздуха 0,001 кг/с

Следующий этап исследования заключается в моделировании течения охлаждающего агента в полости охлаждения. Для этого создана твердотельная трёхмерная модель половины модуля (рисунок 9), включающая зоны подвода и отвода охлаждающего агента. Рассмотрен вариант конструкции с воздушным зазором с толщиной 5 мм. Для подробного моделирования течения теплоносителя при построении сетки конечных элементов слои жидкости разделены по высоте на 10 слоев.

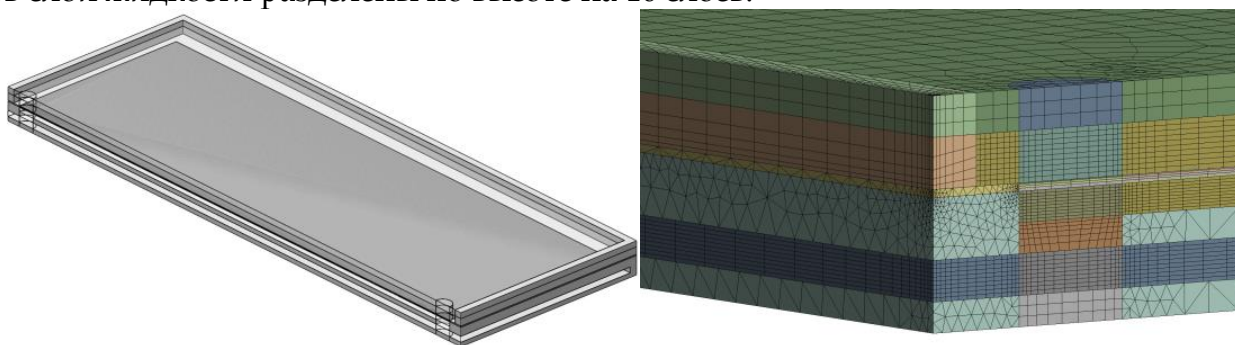


Рисунок 9. Трёхмерная модель половины модуля и сетка конечных элементов половины модуля

Граничное условие «Inlet» для охлаждающего агента задано на поверхности, отмеченной на рисунке 10 слева зеленым цветом. На рисунке 10 справа зеленым цветом отмечена поверхность, для которой задано граничное условие «Outlet».

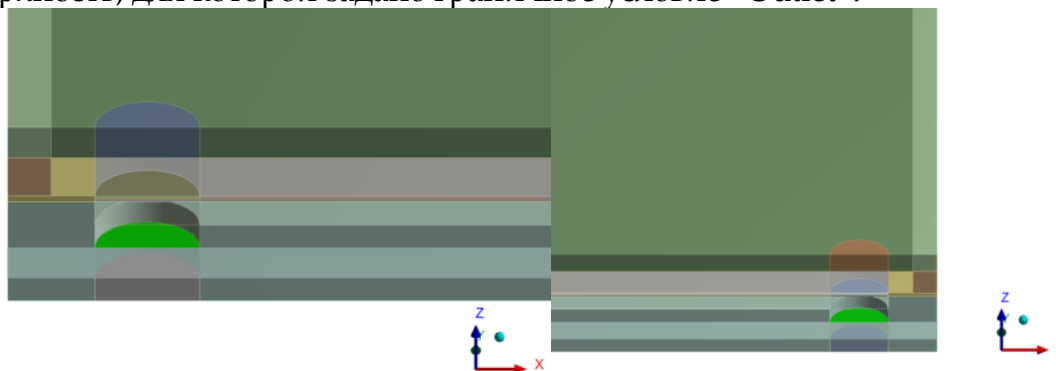


Рисунок 10. Поверхности входа и выхода охлаждающего агента

Ширина полости охлаждения половины модуля больше ширины полости охлаждения части модуля в 3,4 раза, следовательно, для равенства удельного расхода через единицу площади расход охлаждающего агента через половину модуля также должен быть в 3,4 раза больше, чем через часть модуля. Расчеты выполнены для трех величин расхода охлаждающего агента: 0,17 кг/с и 0,0017 кг/с, что эквивалентно расходам охлаждающего агента для части модуля, равным 0,05 кг/с и 0,0005 кг/с.

Линии течения охлаждающего агента, а также эпюры скоростей и температур приведены на рисунках ниже. Линии течения охлаждающего агента при расходе 0,17 кг/с представлены на рисунке 11 слева. Распределения температур охлаждающего агента представлены на рисунке 11 справа.

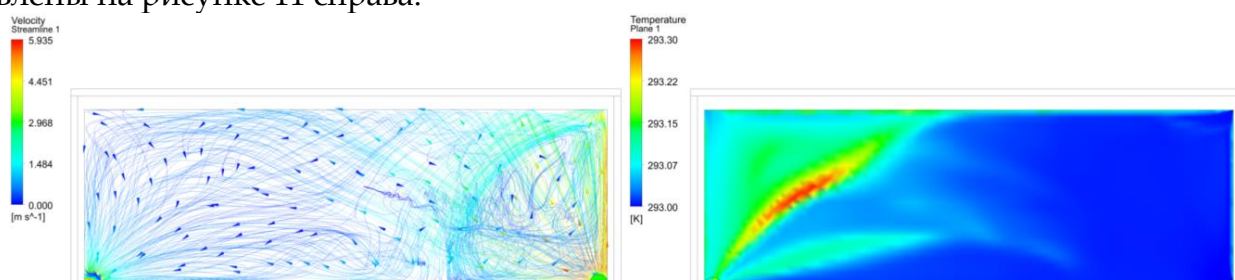


Рисунок 11. Линии течения охлаждающего агента при расходе 0,17 кг/с и распределения температур охлаждающего агента

Суммарные скорости охлаждающего агента при расходе 0,17 кг/с представлены на рисунке 12 слева. Распределения температур электрогенерирующего компонента представлены на рисунке 12 справа.

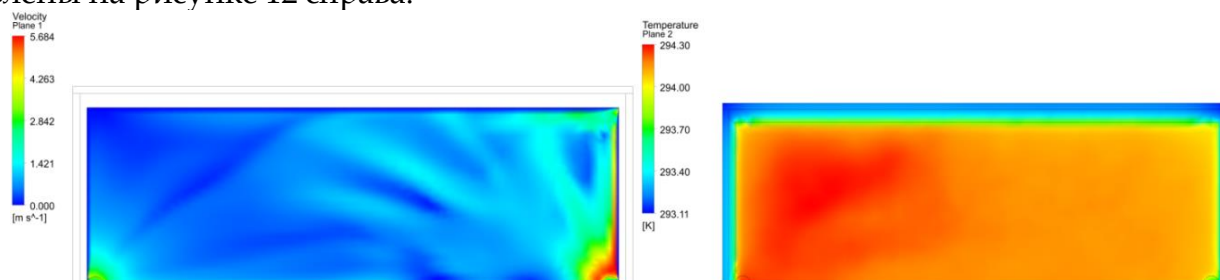


Рисунок 12. Суммарные скорости охлаждающего агента при расходе 0,17 кг/с и распределения температур электрогенерирующего компонента

Распределения температур модуля в плоскости симметрии в зоне входа охлаждающего агента при расходе охлаждающего агента 0,17 кг/с представлены на рисунке 13 слева. Распределения температур модуля в плоскости симметрии в зоне выхода охлаждающего агента представлены на рисунке 13 справа.

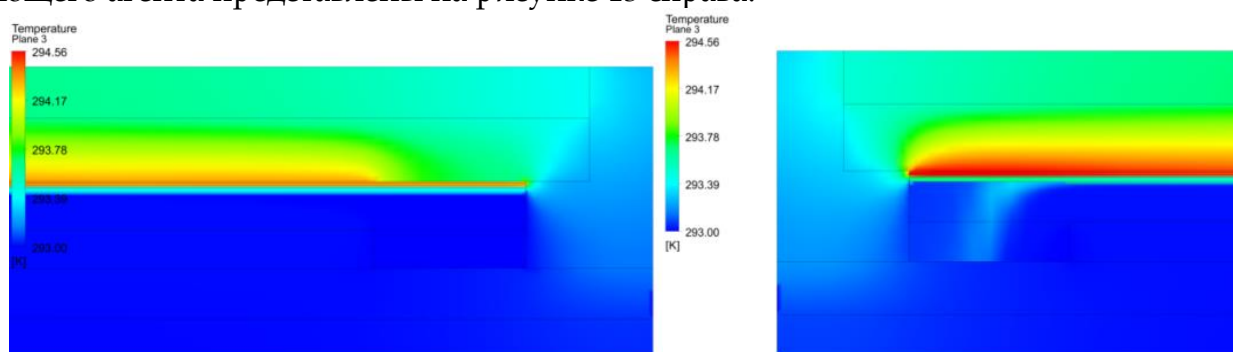


Рисунок 13. Распределения температур модуля в плоскости симметрии в зоне входа охлаждающего агента при расходе охлаждающего агента 0,17 кг/с и распределения температур модуля в плоскости симметрии в зоне выхода охлаждающего агента

Распределения температур охлаждающего агента при расходе 0,0017 кг/с представлены на рисунке 14 слева. Распределения температур электрогенерирующего компонента представлены на рисунке 14 справа.

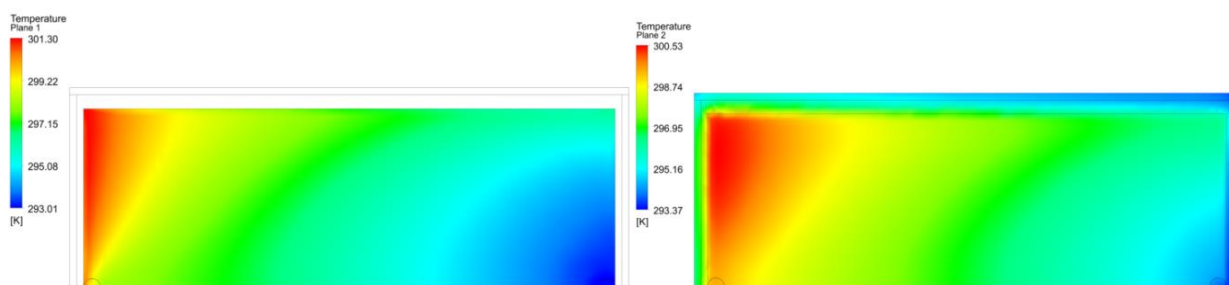


Рисунок 14. Распределения температур охлаждающего агента при расходе 0,0017 кг/с и распределения температур электрогенерирующего компонента

Распределения температур модуля в плоскости симметрии в зоне входа охлаждающего агента при расходе охлаждающего агента 0,0017 кг/с представлены на рисунке 15 слева. Распределения температур модуля в плоскости симметрии в зоне выхода охлаждающего агента представлены на рисунке 15 справа.

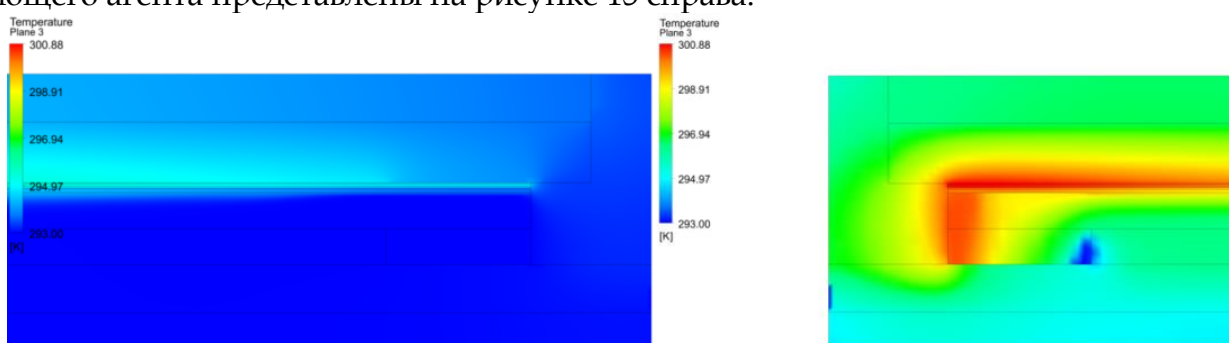


Рисунок 15. Распределения температур модуля в плоскости симметрии в зоне входа охлаждающего агента при расходе охлаждающего агента 0,0017 кг/с и распределения температур модуля в плоскости симметрии в зоне выхода охлаждающего агента

Также рассмотрено моделирование при использовании в качестве охлаждающего агента воздуха при атмосферном давлении. Массовый расход охлаждающего агента задан равным 0,034 кг/с и 0,0034 кг/с.

Линии течения охлаждающего агента воздуха при расходе 0,034 кг/с представлены на рисунке 16 слева. Распределения температур воздуха представлены на рисунке 16 справа.

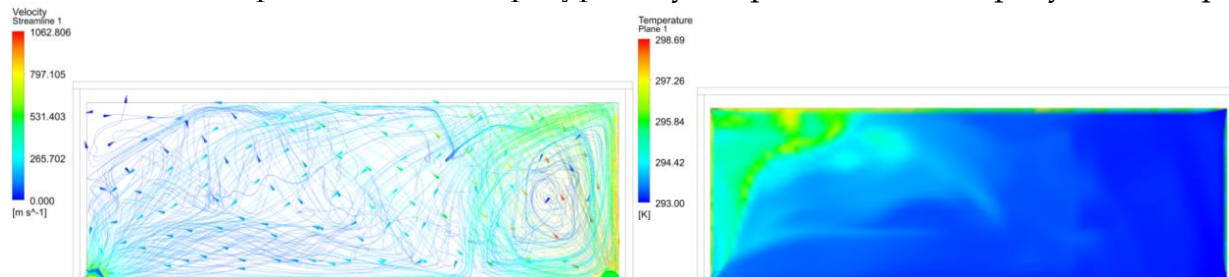


Рисунок 16. Линии течения воздуха при расходе 0,034 кг/с и распределения температур воздуха

Распределения суммарных скоростей воздуха при расходе 0,034 кг/с представлены на рисунке 17 слева. Распределения температур электрогенерирующего компонента представлены на рисунке 17 справа.

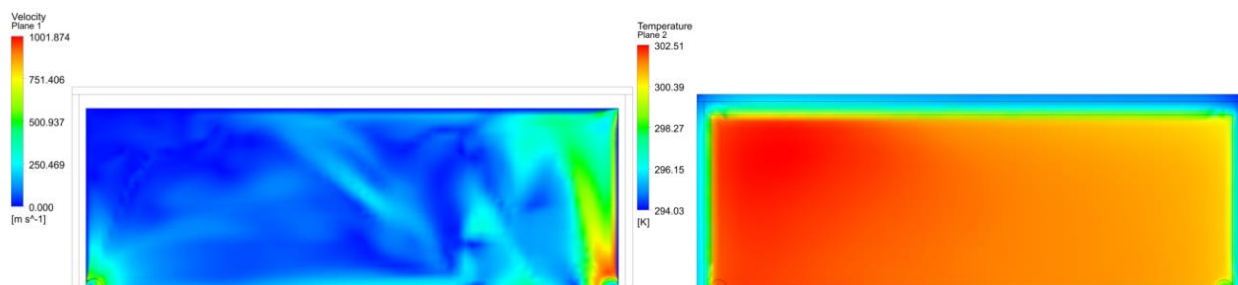


Рисунок 17. Распределения суммарных скоростей воздуха при расходе 0,034 и распределения температур электрогенерирующего компонента

Распределения температур модуля в плоскости симметрии в зоне входа воздуха при расходе воздуха 0,034 кг/с представлены на рисунке 18 слева. Распределения температур модуля в плоскости симметрии в зоне выхода воздуха представлены на рисунке 18 справа.

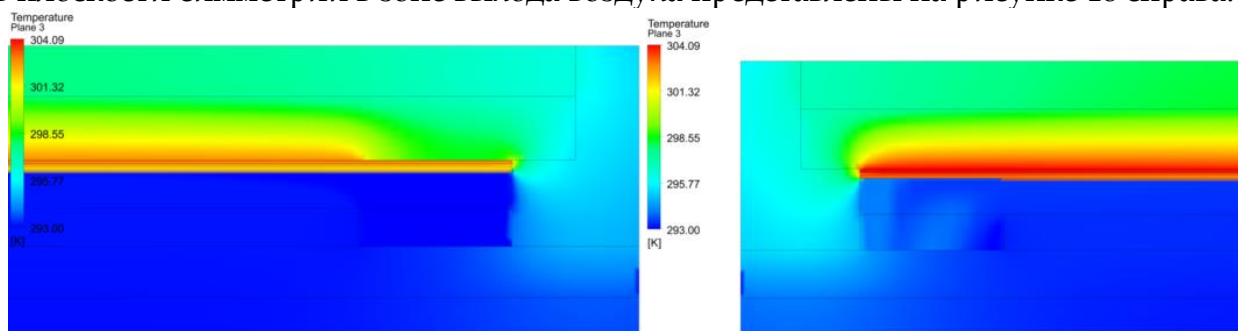


Рисунок 18. Распределения температур модуля в плоскости симметрии в зоне входа воздуха при расходе воздуха 0,034 кг/с и распределения температур модуля в плоскости симметрии в зоне выхода воздуха

Линии течения охлаждающего агента воздуха при расходе 0,0034 кг/с представлены на рисунке 19 слева. Распределения температур воздуха представлены на рисунке 19 справа.

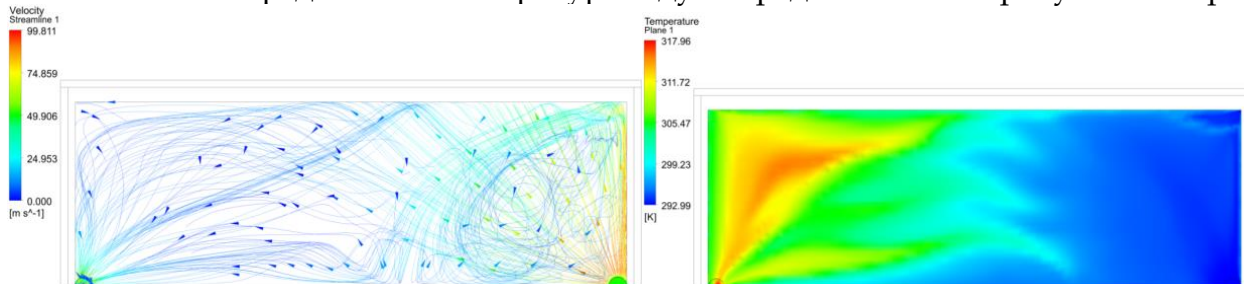


Рисунок 19. Линии течения воздуха при расходе 0,0034 кг/с и распределения температур воздуха

Распределения суммарных скоростей воздуха при расходе 0,0034 кг/с представлены на рисунке 20 слева. Распределения температур электрогенерирующего компонента представлены на рисунке 20 справа.

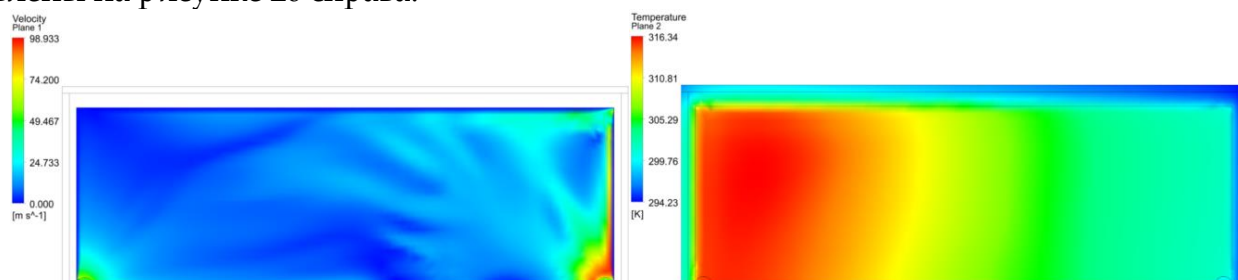


Рисунок 20. Распределения суммарных скоростей воздуха при расходе 0,0034 и распределения температур электрогенерирующего компонента

Распределения температур модуля в плоскости симметрии в зоне входа воздуха при расходе воздуха 0,0034 кг/с представлены на рисунке 21 слева. Распределения температур модуля в плоскости симметрии в зоне выхода воздуха представлены на рисунке 21 справа.

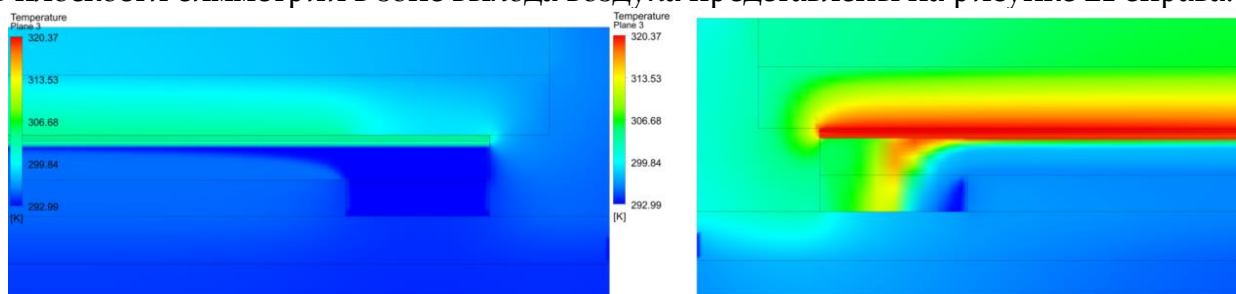


Рисунок 21. Распределения температур модуля в плоскости симметрии в зоне входа воздуха при расходе воздуха 0,0034 кг/с и распределения температур модуля в плоскости симметрии в зоне выхода воздуха

На основании полученных результатов появляется возможность создания оптимальной конструкции солнечного теплофотоэлектрического модуля в виде кровельной панели, в которой все компоненты имеют необходимые размеры и толщину для работы в необходимом тепловом режиме и соответствующей ему выработке электрической энергии электрогенерирующим компонентом.

Список литературы

1. Сеницын С.А. Задача паркетирования сферической защитной оболочки плоскими элементами с требуемой точностью. Современные проблемы железнодорожного транспорта. Сборник трудов по результатам международной интернет-конференции. 2019. С. 265-270.
2. Сеницын С.А. Метод статистической аппроксимации линейных геометрических обводов различной гладкости. Оригинальные исследования. 2020. Т. 10. № 1. С. 34-38.
3. Сеницын С.А. Информационная методика управления качеством поверхности солнечного концентратора, заданной дискретным множеством точек. E-Scio. 2020. № 1 (40). С. 421-427.
4. Панченко В.А. Методика визуализации теплового режима работы радиатора концентраторного солнечного теплофотоэлектрического модуля. Инновации в сельском хозяйстве. 2018. № 2 (27). С. 195-201.
5. Панченко В.А., Чирский С.П. Разработка и исследование солнечных теплофотоэлектрических модулей в системах автоматизированного проектирования и конечно-элементного анализа. Строительство и техногенная безопасность. 2019. № 14 (66). С. 57-72.
6. Панченко В.А. Использование программного комплекса конечно-элементного анализа при проектировании солнечных теплофотоэлектрических модулей. Современные проблемы железнодорожного транспорта. Сборник трудов по результатам международной интернет-конференции. 2019. С. 212-219.
7. Ansys, сайт. – URL: <https://www.ansys.com/> (дата обращения: 19.09.2021). – Текст: электронный.

References

1. Sinitsyn S.A. The problem of parqueting a spherical containment with flat elements with the required accuracy. Modern problems of railway transport. Collection of papers on the results of the international Internet conference. 2019. P. 265-270 [in Russian].
2. Sinitsyn S.A. Method of statistical approximation of linear geometric contours of various smoothness. Original research. 2020. Vol. 10.No. 1. P. 34-38 [in Russian].
3. Sinitsyn S.A. Informational technique for managing the quality of the solar concentrator surface given by a discrete set of points. E-Scio. 2020. No. 1 (40). P. 421-427 [in Russian].
4. Panchenko V.A. A technique for visualizing the thermal mode of operation of the radiator of a concentrator solar photovoltaic thermal module. Agricultural innovations. 2018. No. 2 (27). P. 195-201 [in Russian].
5. Panchenko V.A., Chirsky S.P. Development and research of solar photovoltaic thermal modules in computer-aided design and finite element analysis systems. Construction and technogenic safety. 2019. No. 14 (66). P. 57-72.
6. Panchenko V.A. The use of a finite element analysis software package in the design of solar photovoltaic thermal modules. Modern problems of railway transport. Collection of papers on the results of the international Internet conference. 2019. P. 212-219.
7. Ansys website. - URL: <https://www.ansys.com/> (date of access: 19.09.2021). - Text: electronic.