

ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ТИПА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Кныш Л.И., д.т.н., профессор

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара, Украина

Abstract. Features of a photovoltaic and thermodynamic solar energy conversion were described. The heat transfer fluid type, its temperature and dynamic regime ensures efficiency of a thermodynamic solar energy systems. The 1D mathematical model and numerical algorithm were created for analysis of the thermo-fluid parameters of the flat solar collectors. General recommendations for choose of the heat transfer fluids in the flat solar collectors were presented. In the created 3D mathematical model of the heat exchange in the parabolic trough solar energy systems was taken into account the rheological law for the heat transfer fluid. The heat transfer fluid temperature and its dependence from geometric and thermodynamic parameters were obtained after numerical modeling.

Ключевые слова: СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА, ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ, ТИП ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ЧИСЛЕННЫЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.

На Земле и в космосе получило развитие два типа преобразования энергии Солнца – прямое (фотоэлектрическое) и термодинамическое (машинное). Прямое преобразование основано на использовании полупроводниковых структур различного состава. Существуют лабораторные образцы подобных структур, которые преобразуют солнечную энергию с КПД более 40% [1]. Однако эффективность реальных промышленных полупроводниковых материалов колеблется в пределах 5-20% и имеет тенденции к существенному уменьшению при увеличении мощности. В термодинамических системах преобразования энергии Солнца наблюдается обратная тенденция – с ростом мощности КПД таких систем существенно возрастает [2]. Это делает подобные системы перспективными в наземной и, особенно, в космической энергетике, где наблюдается резкое увеличение энергетических затрат в связи с планами активного освоения околоземного и лунного пространства. Кроме того, специфика организации

термодинамического цикла (паротурбинного или газотурбинного) даёт возможность использовать остаточное тепло для теплофикации, аккумулирования или других нужд.

Требуемая проектная мощность и эффективность термодинамических систем определяется многими факторами, среди которых наиболее существенным являются динамический и температурный режим теплоносителя. Температурный режим системы напрямую зависит от геометрии концентраторов, который используются. Плоские или вакуумированные солнечные коллекторы без концентратором или с концентраторами типа фокон-фоклин генерируют низкопотенциальное тепло (до 100°C), которое, как правило, без дополнительного преобразования используется в быту. Температурный режим одно- или двухконтурного паротурбинного цикла (до 400°C) обеспечивается параболоцилиндрической формой концентратора. Высокотемпературные солнечные энергетические системы (2000°C и выше) работают совместно с концентраторами типа параболоид.

Независимо от форм концентраторов, при машинном преобразовании энергии Солнца остро стоит вопрос о выборе типа теплоносителя. Теплоносители, которые имеют высокие теплофизические показатели, как правило, обладают низкими динамическими и реологическими свойствами или другими особенностями, что ограничивает их использования. В частности, такой универсальный теплоноситель как вода в специально неподготовленном виде имеет температуру кипения 100°C, что накладывает существенные ограничения «сверху» при проектировании низкопотенциальных термодинамических систем. Температура замерзания воды ограничивает «снизу» работу подобных систем и делает необходимым использование двухконтурных схем, что существенно усложняет конструкцию и повышает её стоимость.

Для выбора типа теплоносителя в одно- и двухконтурных низкотемпературных термодинамических установках была создана 1D математическая модель теплопереноса в плоских приёмниках тепла, которая реализована численно итерационным методом. Результаты

моделирования позволили провести параметрический анализ основных геометрических, температурных и динамических показателей системы и сформулировать общие рекомендации по использованию теплоносителей типа вода, антифриз, масло и пр.

В термодинамических системах с параболоцилиндрическими концентраторами в качестве рабочего тела, как правило, используются синтетические масла, которые имеют высокие термодинамические показатели, но являются проблемными с точки зрения гидромеханики и реологии [3]. Для преодоления гидравлического сопротивления при использовании синтетических масел на основе силикона требуются насосы повышенной мощности, что влияет на общий энергетический баланс системы. Более того, в системах должен быть обеспечен оптимальный скоростной режим, без возникновения остаточных следов в трубопроводе, в связи с не-newтоновским типом такого теплоносителя. Выбор рационального динамического режима может быть проведен на основе созданной математической модели, основанной на 3D моделировании рабочих процессов в трубчатом приёмнике тепла солнечной параболоцилиндрической установки. Система уравнений Навье-Стокса моделировалась в приближении слоистого стационарного ламинарного течения с учётом зависимости теплофизических свойств теплоносителя от температуры. Степенной реологический закон учитывался в уравнении движения. Численная реализация модели осуществлялась на основе собственного программного кода, который содержал несколько взаимосвязанных блоков. В результате расчётов получены температурные поля теплоносителя в зависимости от его термодинамических параметров и геометрических характеристик системы приёма.

References

1. <https://www.nrel.gov/>
2. Robert E. English. Technology for Brayton-Cycle Space Powerplants Using Solar and Nuclear Energy, NASA Technical Paper 2558, 1986 – P.15
3. Hongbo Liang, Shijun You, Huan Zhang. Comparison of different heat transfer models for parabolic trough solar collectors, Applied Energy, V.148, 2015, P.105-114