



УДК 621.311

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СИСТЕМЫ СОЛНЕЧНОЙ ТЕПЛОГЕНЕРАЦИИ

## EXPERIMENTAL STUDY OF HIGH- TEMPERATURE SYSTEM SOLAR HEAT PRODUCTION

**Ахмед Яаареб**, магистрант каф. «Атомные станции и возобновляемые источники энергии», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: yaarubelyas80@yahoo.com, Тел.: +7(343)375-95-08

**Коржавин Сергей Александрович**, заведующий лабораторией каф. «Атомные станции и возобновляемые источники энергии», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: s.a.korzhavin@urfu.ru. Тел.: +7(908)6388516

**Щеклеин Сергей Евгеньевич**, д-р. техн. наук, профессор, зав. каф. «Атомные станции и возобновляемые источники энергии», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: s.e.shcheklein@urfu.ru. Тел.: +7(343)375-95-08

**Ahmed Yaareb**, undergraduate student, Department "Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources", Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Russia, Ekaterinburg, Mira, 19. E-mail: ale772009@yandex.ru, Tel.: +7(343)375-95-08

**Sergey A. Korzhavin**, head of laboratory, Department "Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources", Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Russia, Ekaterinburg, Mira, 19. E-mail: s.a.korzhavin@urfu.ru. Tel.: +7(908)6388516

**Sergey E. Shcheklein**, Doctor Sc., Prof., Department «Nuclear power plants and renewable energy sources», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: s.e.shcheklein@urfu.ru. Ph.: ++7(343)375-95-08

**Аннотация.** Использование энергии солнца для термического опреснения морских и загрязненных вод требует получения температуры промежуточного теплоносителя выше 100 °С. В работе приведены результаты исследования солнечных концентраторов параболо-цилиндрического типа для нагрева промежуточного высокотемпературного (силиконового масла) теплоносителя. Применены специальные системы предотвращения переизлучения и конвекции от высокотемпературных элементов установки. Полученные результаты показывают перспективность данной технологии для термического опреснения морских и загрязненных вод.

**Abstract.** Solar thermal desalination of sea and polluted waters requires obtaining an intermediate coolant temperature above 100 °С. The research results of solar concentrators parabol-cylindrical type for heating an intermediate high (silicone oil). Apply a special system for the prevention and from high-temperature convection re-radiation elements installation. The results obtained show the prospect of this technology for thermal desalination of sea and polluted water.

**Ключевые слова:** солнце; термическое опреснение; солнечный концентратор; вода.

**Key words:** solar; thermal desalination; solar concentrators; water.

### ВВЕДЕНИЕ

Технология опреснения воды методом дистилляции основана на процессе испарения воды с последующей конденсацией водяного пара, не содержащего солей и загрязнений [1]. Образующиеся в процессе испарения солевые и грязевые остатки частично удаляются в сепараторе пара и полностью при периодической

очистке поверхностей нагрева [2]. Однако современные солнечные коллекторы в большинстве случаев не способны обеспечить требуемый для дистилляции уровень температур вследствие низкой плотности солнечной радиации, а следовательно значительных площадей тепловоспринимающих поверхностей, обеспечить эффективную тепловую изоляцию которых крайне трудно.

В данной работе представлены результаты исследования применения солнечных концентраторов парболо-цилиндрического типа для нагрева промежуточного высокотемпературного теплоносителя (силиконового масла), который и используется в качестве греющей среды для испарения морской воды. Температура в фокусе концентратора рассчитывается по формуле [3]:

$$T_{max} = k \cdot \left\{ \left[ (2 - \cos U) \cdot \cos(U / 2) - 1 \right] \cdot h^{1/2} \right\}^{1/2}$$

$$k = \left[ \varepsilon / \sigma_0 \cdot 8.36 \cdot 10^{-3} \cdot E_0 \cdot R_3 \cdot \pi / 3 \right]^{1/4}$$

где  $\varepsilon$  – степень черноты поглощающей поверхности;  
 $\sigma_0 = 5,7 \cdot 10^{-8}$  – постоянная Стефана – Больцмана, Вт/м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>.

$U$  – угловое раскрытие отражающей поверхности  
 $h$  – мера оптической точности отражающей поверхности (от 0 до 6)

$R_3$  – коэффициент отражения зеркальной поверхности;

$E_0$  –солнечная радиация, проходящая через входную апертуру концентратора, Вт/м<sup>2</sup>.  
 Рассчитывается по формуле:

где  $q_{пад}$  – плотность потока падающей солнечной энергии, Вт/м<sup>2</sup>;

$k$  – коэффициент концентрации;

$$E_{max} = 8.36 \cdot 10^{-3} \cdot E_0 \cdot R_3 \cdot A_{max} \cdot h^3$$

$A_{max}$  – апертура угла раскрытия концентратора.  
 Рассчитывается по формуле:

$$A_{max} = \pi / 3 \cdot \left[ (2 - \cos U) \cdot \cos(U / 2) - 1 \right].$$

Расчеты показали, что для использованного в опытах концентратора  $k = 5,5$ .

На рис. 1 приведена фотография дистилляционной опреснительной установки на базе солнечного концентратора.



Рис. 1. Проведение работ на концентраторах солнечной энергии.

Общая схема проведения экспериментальных исследований приведена на рис. 2.

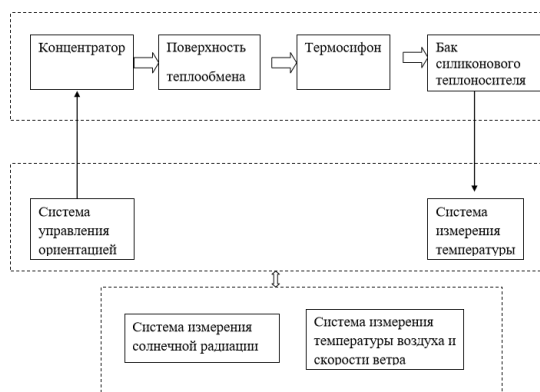


Рис. 2. Блок схема экспериментального стенда

Главным элементом установки является теплоприемник- однофазный термосифонный теплообменник, защищен от окружающей среды прозрачной вакуумной термоизоляцией. Конструкцию данного элемента поясняет рис.3

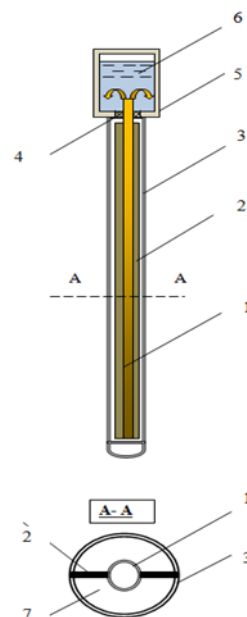


Рис. 3. Конструкция теплоприемника.  
 1-однофазный термосифон;  
 2- теплопринимающая поверхность;  
 3- стеклянная колба;  
 4-узел герметизации;  
 5-бак накопитель;  
 6- силиконовое масло;  
 7- вакуумированный объем.

Исследования проводились в условиях благоприятной солнечной обстановки. Климатические параметры регистрировались автоматизированной системой мониторинга [4]. На рис. 4 приведена запись климатических параметров в период проведения исследований в марте 2017 года.

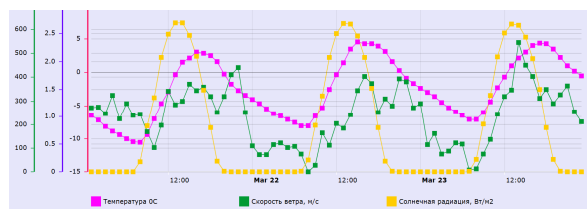


Рис. 4. Диаграммы климатических параметров

Некоторые результаты температурных исследований приведены на рис.5,6.

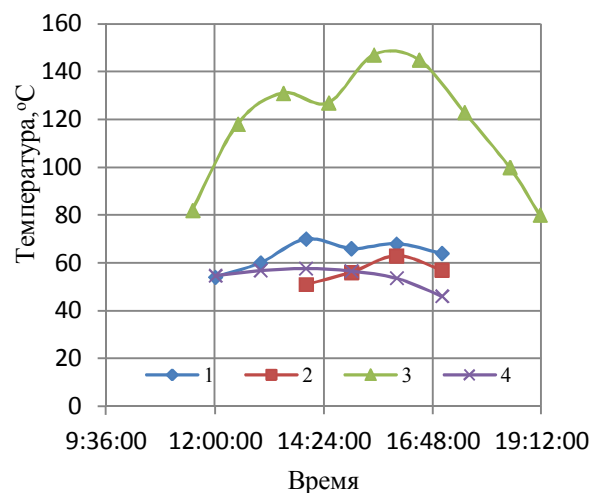


Рис. 5. График изменения температуры бака накопителя (13.03.2017). 1,2-без концентратора, 3- с концентратором, 4-плоский солнечный коллектор

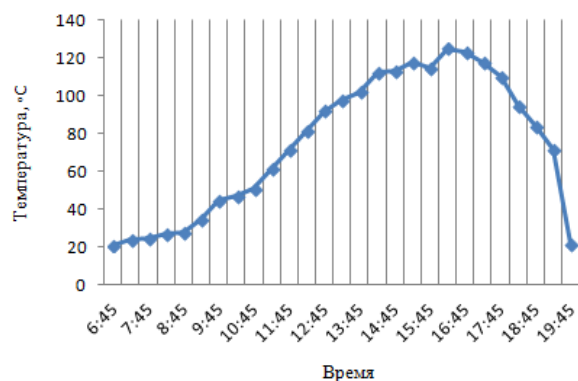


Рис. 6. График изменения температуры бака накопителя (28.04.2017)

Графики показывают, что применение солнечного концентратора существенно повышает уровень температуры и обеспечивает требуемые условия

для дистилляции воды в течение 6 часов в сутки. Увеличение количества концентрирующих модулей позволит использовать высокотемпературные накопители тепловой энергии для непрерывного производства пресной воды в суточном цикле. Данная методика опреснения может быть эффективно использована в странах среднего и ближнего востока, африканского континента и латинской Америки.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Слесаренко В.Н. Опреснение морской воды. М.: Энергоатомиздат, 1991. – 278с.
- 2.Ахмед Яаарб, Щеклеин С.Е Солнечное опреснение и очистка загрязненных минералами вод для условий республики Ирак// Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады, научно-практической конференции и выставки работ студентов, аспирантов и молодых ученых 12-16 декабря 2016 Екатеринбург с. 779-784;
3. Starikov E. V., Pakhaluev V. M., Shcheklein S. E., Nikitin A. D. Computational and experimental research technological steam generation using a solar energy concentrator // 16th International multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2016. Book 4. Energy and Clean Technologies. Conference Proceedings. V. 1. P. 237-244;
4. Shcheklein S. E., Nemikhin Y.E, Popov A.I.,Jaylani A.T. Monitoring system of environmental stochastic characteristics and renewable energy units efficiency in extreme continental climate// Sixth International Conference on Energy and Sustainability «ENERGY AND SUSTAINABILITY 2015» Energy and SustainabilityVI, WIT Transactions on Ecology and The Environment, v.190. 2015, Horvatija p.485-495.