

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ В СОСТАВЕ СОЛНЕЧНОЙ ОПРЕСНИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

И.М. Курпичникова, И.Р. Рахматулин

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

Рассматривается возможность повышения энергоэффективности солнечных опреснительных установок за счет внедрения промежуточной секции из паровой турбины и генератора электрической энергии. Представлен разработанный экспериментальный стенд, имитирующий работу энергоэффективного комплекса очистки воды и выработки электрической энергии для различных времен года. Приведены и проанализированы результаты экспериментальных исследований, выводы и рекомендации по увеличению производительности и использованию солнечных опреснительных установок с паровыми турбинами.

Ключевые слова: энергоэффективный комплекс, солнечная опреснительная установка, паровая турбина, солнечные коллекторы.

Введение

При использовании солнечной энергии в процессах опреснения воды имеет место вопрос нецелесообразного использования энергии пара при изменении его агрегатного состояния, то есть при переходе из парообразного состояния в жидкое [1–7]. В связи с этим для увеличения энергоэффективности установок принято решение применить пар в процессах получения электрической энергии за счет внедрения промежуточной секции в опреснительной установке. Секция состоит из паровой турбины и генератора, где образовавшийся от нагрева опресняемой жидкости пар при расширении передаст свою кинетическую энергию в механическую энергию вращения турбины.

Экспериментальные исследования процессов получения электрической энергии и очищенной воды в составе одного энергоэффективного комплекса проводятся впервые.

Структурная схема использования паровой турбины в составе солнечной опреснительной установки приведена на рис. 1.

Целесообразность использования генератора оправдана при суммарной тепловой мощности

солнечных коллекторов от 3 кВт. Общий вид комплекса представлен на рис. 2.

Теоретический расчет производительности комплекса показал целесообразность использования паровой турбины в составе солнечной опреснительной установки [8–12].

Работа комплекса определяется следующими зависимостями:

$$\begin{aligned} G_{\text{п}} &= f(H, \eta, p^0 - 1); \quad D = f(n - 1); \\ l &= f(G_{\text{п}} - 1, D - 1), \quad \text{при } N = \text{const}, \end{aligned} \quad (1)$$

где N – мощность энергоустановки, кВт; $G_{\text{п}}$ – расход пара на турбину, кг/с; H – располагаемый теплотерепад в микротурбине, кДж/кг; η – КПД энергоустановки; p^0 – давление перед турбиной, МПа; D – диаметр рабочего колеса, м; l – высота рабочей лопатки, м; $p_{\text{к}}$ – давление на выходе из турбины, МПа; t^0 – температура на входе в турбину, °С.

Для подтверждения теоретических расчетов и проверки адекватности работы комплекса разработан стенд (рис. 3) и проведены экспериментальные исследования с имитацией работы комплекса в течение нескольких летних месяцев.

Исследования и расчеты процессов парообразования в составе солнечной опреснительной

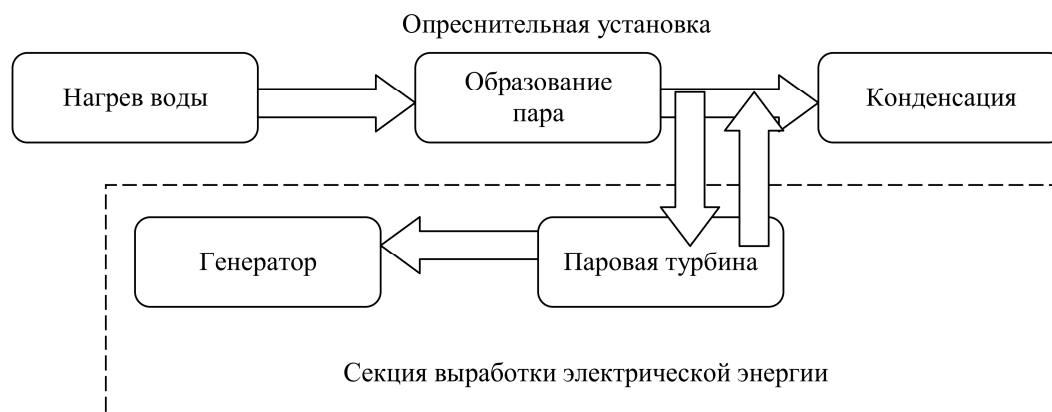


Рис. 1. Структурная схема использования паровой турбины в составе солнечной опреснительной установки

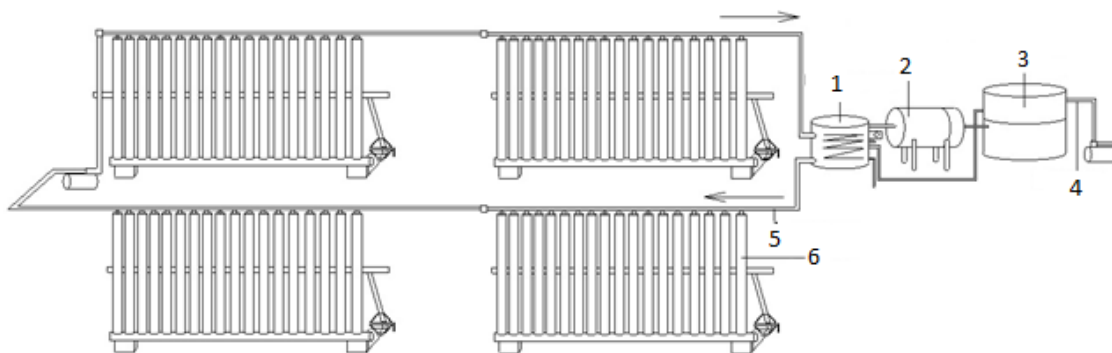


Рис. 2. Схема выработки электрической энергии в солнечной опреснительной установке: 1 – парогенератор, 2 – турбина с генератором, 3 – конденсатор, 4 – трубопровод подачи очищенной воды, 5 – теплообменник, 6 – солнечные коллекторы

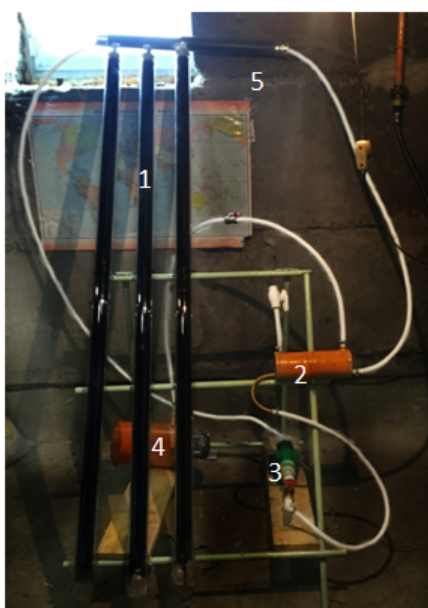


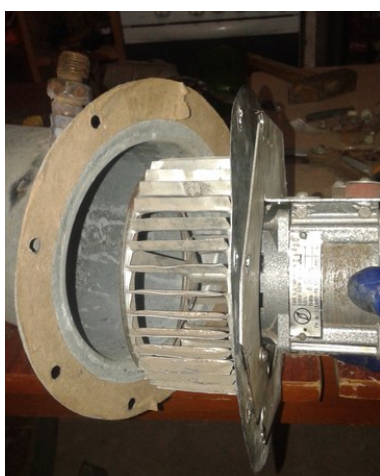
Рис. 3. Экспериментальный стенд выработки электрической энергии за счет использования солнечной энергии: 1 – солнечные коллекторы, 2 – опреснитель, 3 – циркуляционный насос, 4 – тепловая турбина и генератор, 5 – теплообменник

установки проводились ранее и их результаты приведены в статье [13–15]. Закономерности, полученные в результате этих испытаний, позволяют рассчитать объемы полученного пара, и тем самым заменить солнечные коллекторы электрическим нагревателем ТЭК-2 мощностью 6 кВт, что равноценно 40 трубкам вакуумного коллектора [16].

Принцип действия стенда заключается в том, что электрический нагреватель, имитируя работу солнечных коллекторов 1 и теплообменника 5, нагревает теплоноситель, который через насос 3 циркулирует через опреснитель 2, откуда образовавшийся пар попадает в паровую турбину 4, на валу которой установлен генератор.

Секция для выработки электрической энергии состоит из радиальной одноступенчатой турбины, установленной непосредственно на вал генератора мощностью 150 Вт (рис. 4).

КПД турбины в дальнейшем планируется увеличить на 25 % за счет модернизации установки, использования более плотных концевых уплотнителей и увеличения количества сопла для равномерного распыления пара внутри турбины.



а)



б)

Рис. 4. Радиальная одноступенчатая турбина (а) и сопло (б)

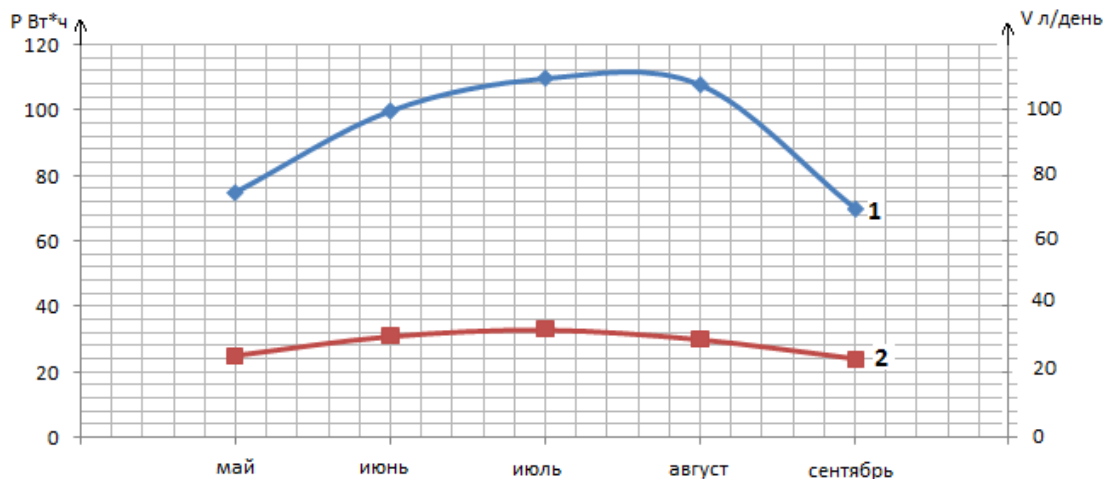


Рис. 5. Графики зависимости выработки электрической энергии (1) и объем полученной очищенной воды (2) в летние месяцы использования комплекса

На рис. 5 показан график зависимости выработки электрической энергии в течение дня, невысокая производительность комплекса объясняется низким КПД генератора – 50 %.

Таким образом, использование паровой турбины в составе солнечной опреснительной установки позволит увеличить эффективность комплекса, сделать его полностью автономным. Электрическую энергию, вырабатываемую комплексом, в зависимости от мощности комплекса, можно использовать как для питания собственных нужд станции (насосы, система управления), так и подачи электроэнергии в сеть.

Использование паровой турбины в составе солнечной опреснительной установки экономически целесообразно при использовании от 40 трубок вакуумных солнечных коллекторов и с поступлением солнечной радиации от $1000 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в год.

Заключение

Полученные результаты позволяют сделать вывод о возможности увеличения выходной мощности комплекса за счет увеличения трубок солнечных коллекторов и увеличения КПД генератора и турбины на 20 % с учетом снижения тепловых потерь при передаче энергии от коллекторов до турбины. Вследствие этого становится возможной разработка энергоэффективного комплекса для обеспечения электрической энергией в 3 кВт·ч и питьевой водой в объеме 40 л в сутки загородного дома при использовании 27 модулей вакуумных коллекторов фирмы Rucelf.

Литература

1. Кирпичникова, И.М. Опреснение воды с использованием энергии ветра и солнца / И.М. Кирпичникова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». – 2012. – № 16 (275). – С. 22–25.
2. Агамалиев, М.М. Технология комбинирован-

ного опреснения морской воды с использованием вторичным энергоресурсов / М.М. Агамалиев // Энергосбережение и водоподготовка. – 2007. – № 4. – С. 14–16.

3. Солнечное излучение как источник энергии // Георесурсы. – 2006. – № 4. – С. 30.

4. Слесаренко, В.Н. Опреснительные установки / В.Н. Слесаренко – Владивосток.: ДВГМА, 1999. – 244 с.

5. Рахматулин, И.Р. Сравнительный анализ использования солнечного коллектора и солнечного концентратора для опреснения воды / И.Р. Рахматулин // Наука ЮУрГУ: материалы 65-й науч. конф. Секции технических наук: в 2 т. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ. – 2013. – Т. 2. – С. 190–193.

6. Калнинь, И.М. Физическая модель теплонасосных опреснителей соленой воды / И.М. Калнинь, А.С. Жернаков, С.Б. Пустовалов // Вестник Международной академии холода. – 2010. – № 2. – С. 12–21.

7. Солнечная энергетика / В.И. Виссарионов, Г.В. Дерюгина, В.А. Кузнецова, Н.К. Малинин // Издательский дом МЭИ, 2008. – 276 с.

8. Теплофикационная паровая турбина Т-125/150-12.8 / А.Е. Валамин, А.Ю. Култышев, А.А. Гольдберг и др. // Теплоэнергетика. – 2014. – № 12. – С. 3.

9. Теплофикационная паровая турбина Т-113/145-12,4 / Г.Д. Баринберг, А.Е. Валамин, Ю.А. Сахнин и др. // Надежность и безопасность энергетики. – 2010. – № 11. – С. 38–41.

10. Ивановский, А.А. Перспективы строительства ТЭЦ с паровыми турбинами с противодавлением / А.А. Ивановский, А.Ю. Култышев, М.Ю. Степанов // Теплоэнергетика. – 2014. – № 12. – С. 37.

11. Чепурной, М.Н. Энергетические характеристики газопаровых турбин с ТЭЦ с противодавленческими паровыми турбинами / М.Н. Че-

Альтернативные источники энергии

пурной, М.В. Бужинский // *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. – 2009. – № 2. – С. 51–54.

12. Расчет моментов сил трения в турбогенераторе вертикальной микротурбины с газодинамическими подшипниками, работающей на традиционной и на сезонной солнечной энергии / Н.Н. Ефимов, Р.В. Безуглов, В.В. Папин, Д.С. Католиченко // *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки*. – 2015. – № 14. – С. 59–64.

13. Рахматулин, И.Р. Экспериментальные исследования влияния устройства слежения на производительность солнечной опреснительной установки / И.Р. Рахматулин // *Ползуновский Вестник*. – 2013. – № 4. – С. 168–178.

14. Кирпичникова, И.М. Экспериментальные

исследования лабораторного опреснителя воды / И.М. Кирпичникова, И.Р. Рахматулин // *Альтернативная энергетика и экология*. – 2013. – № 1. – Т. 2 (118). – С. 40–43.

15. Рахматулин, И.Р. Математическая модель солнечной опреснительной установки с устройством слежения за солнцем / И.Р. Рахматулин // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника»*. – 2014. – Т. 14, № 1. – С. 110–115.

16. Пособие по проектированию и расчету геосистем RUCELF. – 32 с. – <http://geo-comfort.ru/images/PDF/Тепловие%20насосы/Solnishko/проектирование%20геосистем.pdf> (дата обращения: 20.03.2016).

Кирпичникова Ирина Михайловна, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Электротехника и возобновляемые источники энергии», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; ionkim@mail.ru.

Рахматулин Ильдар Рафикович, канд. техн. наук, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; ildar.o2010@yandex.ru.

Поступила в редакцию 22 июня 2016 г.

DOI: 10.14529/power160307

STEAM TURBINE IN SOLAR DESALINATION PLANT

I.M. Kirpichnikova, ionkim@mail.ru,

I.R. Rakhmatulin, ildar.o2010@yandex.ru

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

The article discusses the possibility of using a steam turbine as a part of the solar desalination plant, the results of experimental research, conclusions and recommendations.

Keywords: energy-efficient complex, solar desalination plant, steam turbine, solar collectors.

References

1. Kirpichnikova I.M. [Desalination Using Wind and Solar Energy]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*, 2012, no. 16 (275), pp. 22–25. (in Russ.)

2. Agamaliev M.M. [Technology of Combined Desalination of Sea Water Using a Secondary Energy]. *Energosberezhenie i vodopodgotovka* [Energy Saving and Water Treatment], 2007, no. 4, pp. 14–16. (in Russ.)

3. [Solar Radiation as an Energy Source]. *Georesursy* [Georesources], 2006, no. 4, pp. 30. (in Russ.)

4. Slesarenko V.N. *Opresnitel'nye ustanovki* [Desalination Plants]. Vladivostok, DVGMA, 1999. 244 p.

5. Rakhmatulin I.R. [Comparative Analysis of Use of Solar Concentrator and Desalination]. *Nauka YuUrGU: materialy 65-y nauchnoy konferentsii. Sektsii tekhnicheskikh nauk* [SUSU Science: Proceedings of the 65th Conference. Section of Technical Sciences]. Chelyabinsk, SUSU Publ., 2013, vol. 2, pp. 190–193. (in Russ.)

6. Kalnin' I.M., Zhernakov A.S., Pustovalov S.B. [Physical Model of Heat Pump Desalination]. *Vestnik Mezhdunarodnoy akademii kholoda* [Journal of the International Academy of Refrigeration], 2010, no. 2, pp. 12–21. (in Russ.)

7. Vissarionov V.I., Deryugina G.V., Kuznetsova V.A., Malinin N.K. *Solnechnaya energetika* [Solar Power]. MEI Publ., 2008. 276 p.
8. Valamin A.E., Kultyshev A.Yu., Gol'dberg A.A., Sakhnin A.A. et. al. [T-125 / 150-12.8 Heat and Steam Turbine]. *Teploenergetika* [Thermal Engineering], 2014, no. 12, pp. 3. (in Russ.)
9. Barinberg G.D., Valamin A.E., Sakhnin Yu.A., Ivanovskiy A.A. et. al. [T-113/145-12,4 Heat and Steam Turbine]. *Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki* [Reliability and Safety of Energetics], 2010, no. 11, pp. 38–41. (in Russ.)
10. Ivanovskiy A.A., Kultyshev A.Yu., Stepanov M.Yu. [Prospects for Construction of Thermal Power Station with Backpressure Steam Turbine]. *Teploenergetika* [Thermal Engineering], 2014, no. 12, pp. 37. (in Russ.)
11. Chepurnoy M.N., Buzhinskiy M.V. [Energy Characteristics of Gas-steam Turbines of Thermoelectric Plant with Backpressure Steam Turbines]. *Visnik Vinnic'kogo politehnichnogo institutu*, 2009, no. 2, pp. 51–54.
12. Efimov N.N., Bezuglov R.V., Papin V.V., Katolichenko D.S. [Calculation of Friction Torque in Vertical Micro-turbine Generator with Gas-dynamic Bearings Using Conventional and Seasonal Solar Energy] *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Seriya: Tekhnicheskie nauki* [Proceedings of Higher Educational Institutions. North-Caucasian region. Series: Engineering], 2015, no. 14, pp. 59–64. (in Russ)
13. Rakhmatulin I.R. [Experimental Studies of Tracking Devices Affecting Performance of Solar Desalination Plant]. *Polzunovskiy Vestnik*, 2013, no. 4, pp. 168–178. (in Russ)
14. Kirpichnikova I.M., Rakhmatulin I.R. [Experimental Studies of Laboratory Water Distiller]. *Alternativnaya jenergetika i jekologija* [Alternative Energy and Ecology], 2013, no. 1, vol. 2 (118), pp. 40 – 43. (in Russ)
15. Rakhmatulin I.R. [Mathematical Model of Solar Desalination Plant with Sun Tracking Device]. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technology, Management, Electronic*, 2014, vol. 14, no. 1, pp. 110–115. (in Russ)
16. *Posobie po proektirovaniyu i raschetu geliosistem RUCELF* [Manual for Designing and Calculating RUCELF Solar Systems], 32 p. Available at: <http://geo-comfort.ru/images/PDF/Teplovie%20nasosy/Solnishko/proektirovaniye%20geliocistem.pdf> (accessed 20.03.2016)

Received 22 June 2016

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Кирпичникова, И.М. Использование паровой турбины в составе солнечной опреснительной установки / И.М. Кирпичникова, И.Р. Рахматулин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2016. – Т. 16, № 3. – С. 57–61. DOI: 10.14529/power160307

FOR CITATION

Kirpichnikova I.M., Rakhmatulin I.R. Steam Turbine in Solar Desalination Plant. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*, 2016, vol. 16, no. 3, pp. 57–61. (in Russ.) DOI: 10.14529/power160307