

DOI 10.23859/1994-0637-2017-4-79-5
УДК 620.91

© Рахматулин И.Р., Кирпичникова И.М., 2017

Рахматулин Ильдар Рафикович

Кандидат технических наук, Южно-
Уральский государственный университет
(Челябинск, Россия)
E-mail: ildar.o2010@yandex.ru

Rakhmatulin Ildar Rafikovich

PhD (Technical Sciences),
South Ural State University
(Chelyabinsk, Russia)
E-mail: ildar.o2010@yandex.ru

Кирпичникова Ирина Михайловна

Доктор технических наук, профессор,
Южно-Уральский государственный
университет (Челябинск, Россия)
E-mail: ionkim@mail.ru

Kirpichnikova Irina Mikhailovna

Dr. Technical Sciences, Professor,
South Ural State University
(Chelyabinsk, Russia)
E-mail: ionkim@mail.ru

**АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ
ЭФФЕКТИВНОСТИ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ
ЭНЕРГИИ В ПРОЦЕССАХ
ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ И
ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРОВОЙ
ТУРБИНЫ НА ТЕРРИТОРИИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ANALYSIS OF ECONOMIC
EFFICIENCY OF SOLAR ENERGY
APPLICATION WITHIN
ELECTRICITY AND HEAT
PRODUCTION USING A STEAM
TURBINE IN THE RUSSIAN
FEDERATION**

Аннотация. Преобразование солнечной энергии в тепловую с последующим получением пара и его использованием в паровой турбине нашло широкое применение в странах западной Европы, Северной Африки и Северной Америки. Широкий вклад в изучение и популяризацию данного метода получения электрической энергии внесли Javier Bonilla, Ebru Usta, Daniel Horst, Christopher Newton, Manuel Romero-Alvarez и другие ученые, использующие в своих работах конструкции типа солнечная башня, концентратор Стирлинга, параболический концентратор и двигатель Стирлинга. В Российской Федерации схожими исследованиями занимались И.М. Калнин и А.С. Жернаков при разработке теплонасосного опреснителя соленой воды. При этом современные устройства преобразования солнечной энергии в тепловую для последующей выработки электрической энергии имеют высокие показатели эффективности при работе в странах с высокой интенсивностью солнечного излучения, что делает известные установки непригодными для использования на большей территории Российской Федерации. В связи с этим имеется не-

Abstract. Converting solar energy into heat energy and then receiving steam and its use in a steam turbine is widely applied in Western Europe, North Africa and North America. Javier Bonilla, Ebru Usta, Daniel Horst, Christopher Newton, Manuel Romero-Alvarez and other researchers who used in their study such designs as solar tower, hub Stirling parabolic concentrator and the Stirling engine, contributed a lot to the study and promotion of this method of producing electricity. In Russian Federation similar studies were carried out by I.M. Kalnina and A.S. Zhernakov who were developing heat pump salt water distiller. Modern solar energy conversion devices for the subsequent thermal electric power generation have high efficiency when operating in countries with high intensity of solar radiation, which makes them unsuitable for use in most regions of the Russian Federation. Consequently, there is a need for improving the efficiency of solar concentration and the development of more efficient conversion of thermal energy into electrical one.

обходимость в повышении эффективности концентрации солнечного излучения и разработке более эффективной системы преобразования тепловой энергии в электрическую.

Ключевые слова: паровая турбина, солнечная опреснительная установка, солнечные коллекторы, отопление

Keywords: steam turbine, solar desalination plant, solar collectors, heating

Введение

В настоящее время солнечная энергетика нашла широкое применение в системах отопления, выработки электрической энергии и в процессах опреснения. При этом использование солнечной энергии в процессах выработки электрической энергии за счет паровой турбины начинает только развиваться, пока не нашло широкого применения в мире и используется только в ряде стран с высокой интенсивностью солнечного излучения [3]–[6]. Процесс выработки электрической энергии за счет паровой турбины затрудняется сложностью конструкции, высокой стоимостью установки и необходимостью работы при высокой солнечной активности.

Компания "Siemens" занимается внедрением солнечных электростанций, работающих на концентраторах с выработкой пара высокого давления для паровых турбин мощностью от 1 МВт. На основании полученного опыта сделаны рекомендации по целесообразности использования паровых турбин в составе солнечных установок в зависимости от региона.

В Российской Федерации благоприятными регионами для развития солнечных электростанций с паровыми турбинами являются регионы Северного Кавказа, Республика Крым и южные регионы Алтайского края.

Основная часть

Методы исследования. Для получения результатов было принято решение разработать экспериментальный стенд. Нами была разработана установка для электрообеспечения жилых домов, небольших поселений и комплексов на территории РФ, поэтому имеющийся мировой опыт может использоваться частично, так как он направлен на выработки больших объемов электроэнергии и при работе в регионах с высокой солнечной активностью. Первостепенным вопросом является экономическая целесообразность использования разрабатываемой установки, так как проблема нехватки солнечной энергии для большей части Российской Федерации очевидна. Следовательно, необходимо выработать стратегию по принятию решений о целесообразности использования разрабатываемой установки в различных регионах РФ.

Для повышения эффективности комплекса паровая турбина используется в составе разработанной опреснительной установки [1]. Температура пара на выходе из турбины имеет температуру более 100 °С, которую целесообразно использовать для предварительного прогрева воды перед секцией испарения и для системы теплообеспечения.

Результаты экспериментальных исследований стенда (рис. 1) с имитацией подачи пара от солнечных коллекторов показали целесообразность использования солнечной энергии в процессе получения пара для работы паровой турбины.



Рис. 1. 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

В испытаниях использовалась разработанная одноступенчатая радиальная турбина, мощности которой недостаточно для выработки электрической энергии более 1 кВт. В связи с этим принято решение задействовать промышленный образец мини-турбины, специально подобранной специалистами компании "Mizun Consultant", для работы в составе солнечной электростанции.

Результаты исследования. Для работы в комплексе с солнечными коллекторами совместно с поставителями компании "Mizun Consultant" выбрана оптимальная паровая турбина серии "VAMAN" с генератором переменного тока мощностью $P = 7,5$ кВА, $U = 380$ В, $f = 50$ Гц, 3000 об./мин.

Турбину с подобранным генератором необходимо обеспечить подачей сухого и насыщенного пара объемом 64 кг/ч, при $t = 190$ °С и при давлении $P = 10,5$ Бар. Температура пара на выходе из турбины составит 120 °С, после чего его можно отправить в систему теплообменника, что позволит получить 640 л горячей воды с температурой 65 °С.

Для получения необходимых параметров пара в летние месяцы работы потребуется 420 вакуумных солнечных коллекторов фирмы "Rucelf". Использование 420 коллекторов в составе солнечной электростанции на территории Российской Федерации в зависимости от территориального расположения позволит использовать различные типы генераторов по мощности (рис. 2).

Очевидно, что на северных широтах выработка электрической энергии значительно сокращается, что обуславливается снижением продолжительности дня и уменьшением интенсивности солнечного излучения. Необходимо увеличение мощности установки либо использование комбинированной системы энергоснабжения с электрическими сетями (при их наличии) или электрического генератора на традиционных источниках энергии.

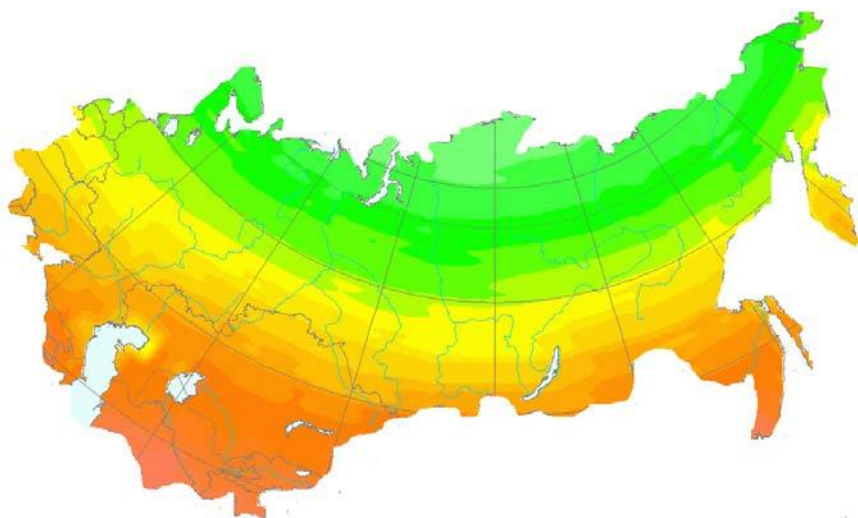


Рис. 2. Выработка электрической энергии на паровой турбине на территории Российской Федерации:
 - 9 кВт, - 7,5 кВт, - 5 кВт, - 2 кВт

Рассмотрим оптимальный вариант использования установки на территории Челябинской области, где потребляется полностью электрическая и тепловая энергия. При этом окупаемость установки при использовании турбины различной мощности на территории Российской Федерации, рассчитанная исходя из теоретических расчетов и экспериментальных исследований, будет следующей (рис. 3).

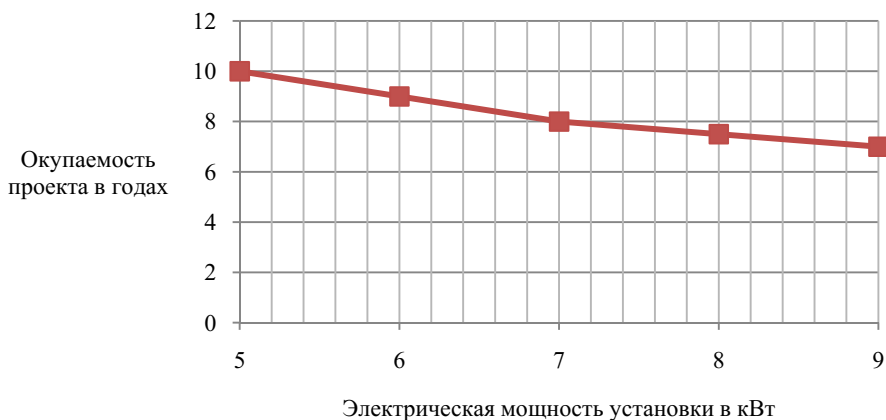


Рис. 3. Зависимость стоимости установки и окупаемости от мощности установки

Обсуждение и выводы. Целесообразно использовать паровую турбину мощностью порядка 9 кВт, что позволит снизить окупаемость установки до 8 лет. Дальнейшее увеличение мощности установки нецелесообразно, так как это приведет к необходимости использования более мощной паровой турбины с более высоким

давлением пара, что значительно удорожит и усложнит установку, при этом увеличится и площадь расположения солнечных коллекторов.

Установки рекомендуется использовать в регионах с более высокой солнечной активностью на территориях Северного Кавказа, Краснодарского края, республики Крым, где окупаемость за счет более высокой солнечной активности в среднем будет меньше на несколько лет, в сравнении с Челябинской областью.

Использование паровой турбины в составе опреснительной установки позволит повысить эффективность использования солнечной энергии. Установку мощностью 8–10 кВт можно использовать на 2 дома в сельской местности, это позволит обеспечить дома электрической и тепловой энергией.

Проведенный анализ доказал целесообразность применения солнечных концентраторов в процессах получения электрической энергии на территориях от 55 до 60° северной широты с поступлением солнечной радиации в пределах 1000–1300 кВт·ч/м² в год.

Литература

1. Кирпичникова И.М., Рахматулин И.Р. Экспериментальные исследования лабораторного опреснителя воды // *Альтернативная энергетика и экология*. 2013. №1. Т. 2(118). С. 40–43.
2. Рахматулин И.Р. Экспериментальные исследования влияния устройства слежения на производительность солнечной опреснительной установки // *Ползуновский Вестник*. 2013. №4. С. 168–178.
3. Ebru Usta. A consideration of cycle selection for meso-scale distributed solar-thermal power. A Thesis Presented to The Academic Faculty by Suzanne Price, Georgia Institute of Technology August. 2009. P. 209.
4. Horst D. Performance Simulation For Parabolic Trough Concentrating Solar Power Plants and Export Scenario Analysis For North Africa. A Thesis Submitted to the Faculty of Engineering at Cairo University in Partial Fulfillment. 2012. P. 122.
5. Newton C. Low-cost concentrating solar collector for steam generation by John Dascomb. A Thesis submitted to the Department of Mechanical Engineering in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science. 2009. P. 94.
6. Okhorzina A., Numerical modelling of a PV concentrator system based on a dual-diode cell model taking into account cooling by a heat sink. 31st European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition. 2013. P. 345–353.
7. Steam turbines for solar thermal power plants. Siemens. 2008. 8 pp. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: <http://www.solarthermalworld.org/sites/gstec/files/powergeneration.pdf>

References

1. Rakhmatulin I.R. Eksperimental'nye issledovaniia vliyaniia ustroystva slezheniia na proizvoditel'nost' solnechnoi opresnitel'noi ustanovki. [Experimental study on tracing device influence on solar distiller efficiency]. *Polzunovskii Vestnik* [Polzunov Herald], 2013, no. 4, pp. 168–178.
2. Kirpichnikova I.M., Rakhmatulin I.R. Eksperimental'nye issledovaniia laboratornogo opresnitelia vody [Experimental researches of a laboratory water desalter]. *Alt'ernativnaia energetika i ekologiya* [Alternative energy and ecology], 2013, no. 1, T. 2(118), pp. 40–43.
3. Ebru Usta. A consideration of cycle selection for meso-scale distributed solar-thermal power. A Thesis Presented to The Academic Faculty by Suzanne Price, Georgia Institute of Technology August, 2009, pp. 209.
4. Horst D. Performance Simulation For Parabolic Trough Concentrating Solar Power Plants and Export Scenario Analysis For North Africa. *A Thesis Submitted to the Faculty of Engineering at Cairo University in Partial Fulfillment*, 2012, p. 122.

5. Newton C. Low-cost concentrating solar collector for steam generation by John Dascomb. A Thesis submitted to the Department of Mechanical Engineering in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science, 2009, p. 94.
6. Okhorzina A. Numerical modelling of a PV concentrator system based on a dual-diode cell model taking into account cooling by a heat sink. *31st European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition*, 2013, pp. 345–353.
7. Steam turbines for solar thermal power plants. Siemens. 2008. 8 pp. Adobe Acrobat Reader. Available at: <http://www.solarthermalworld.org/sites/gstec/files/powergeneration.pdf>

Рахматулин И.Р., Кирпичникова И.М. Анализ экономической эффективности использования солнечной энергии в процессах выработки электрической и тепловой энергии с использованием паровой турбины на территории Российской Федерации // Вестник Череповецкого государственного университета. 2017. №4(79). С. 34–39.

For citation: Rakhmatulin I.R., Kirpichnikova I.M. Analysis of economic efficiency of solar energy application within electricity and heat production using a steam turbine in the Russian Federation. *Bulletin of the Cherepovets State University*, 2017, no. 4 (79), pp. 34–39.