КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ И СОЗДАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ СОЛНЕЧНОЙ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Р.А. Ильин, Н.Д. Шишкин

Лаборатория нетрадиционной энергетики Отдела энергетических проблем Саратовского научного центра РАН
при Астраханском государственном техническом университете
414056 Астрахань, ул. Татищева, д. 16
Тел.: 8-(8512)-614-282, факс: 8-(8512)-614-233, e-mail: kaften.astu@mail.ru

Заключение совета рецензентов: 01.11.15 Заключение совета экспертов: 05.11.15 Принято к публикации: 09.11.15

В работе проведен комплексный анализ эффективности солнечных установок по сроку их окупаемости в зависимости от типов солнечных коллекторов и от удельной стоимости их тепловоспринимающей поверхности. Помимо теоретического анализа в статье приводится алгоритм создания экспериментальной солнечной водонагревательной установки. Все это демонстрируется достаточно четкими иллюстрациями и пояснениями. Цель создания – дальнейшие экспериментальные исследования эффективности работы данной конструкции солнечной водонагревательной установки.

Ключевые слова: комплексная оценка эффективности, возобновляемые источники энергии, солнечная энергия, солнечные водонагревательные установки, создание экспериментальной солнечной установки, технико-экономическая оценка.

THE COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY AND THE CREATION OF THE EXPERIMENTAL SOLAR WATER HEATING UNIT

R.A. Ilyin, N.D. Shishkin

The laboratory of nonconventional energetics of the energetic problem department of the Saratov Research Centre of the RAS
at the Astrakhan State Technical University
16 Tatishcheva str., Astrakhan, 414056, Russia
Tel.: 8-(8512)-614-282, fax: 8-(8512)-614-233, e-mail: kaften.astu@mail.ru

Referred: 01.11.15 Expertise: 05.11.15 Accepted: 09.11.15

In work the complex analysis of efficiency of solar installations on the term of their payback depending on types of solar collectors and from the specific cost of their heat perceiving surface is carried out. Besides the theoretical analysis, the algorithm of creation of experimental solar water-heating installation is given in article. All this is shown by rather accurate illustrations and explanations. The creation purpose – further pilot studies of overall performance of this design of solar water-heating installation.

Keywords: the comprehensive assessment of the efficiency, renewable energy sources, solar energy, solar water heating units, the creation of the experimental solar unit, technical and economic evaluation.

Роман Альбертович
Ильин
Roman A. Ilyin

Сведения об авторе: канд. техн. наук, доцент, с.н.с. лаборатории нетрадиционной энергетики отдела энергетических проблем Саратовского научного центра РАН при АГТУ.

Образование: АГТУ (2001), инженер по специальности «Промышленная теплоэнергетика».

Область научных интересов: установки на возобновляемых источниках энергии, топливные теплоэнергетические установки, анализ энергоэффективности различных видов установок.

Публикации: 140, из них в изданиях по списку ВАК – 42, монографии – 2.

Information about the author: candidate of technical sciences, docent, senior research fellow of the laboratory of nonconventional energetics of the energetic problem department of the Saratov research centre of the RAS at the ASTU.

Education: ASTU (2001), the engineer in "Industrial power system".

Research area: installations on renewables, fuel heat power installations, the analysis of energy efficiency of different types of installations.

Publications: 140, from them in editions according to the HCC list – 42, monographs – 2.

Николай Дмитриевич
Шишкин
Nikolay D. Shishkin

Сведения об авторе: д-р техн. наук, профессор, зав. лабораторией нетрадиционной энергетики отдела энергетических проблем Саратовского научного центра РАН при АГТУ.

Награды: Императорский орден Святой Анны 3-й степени, медаль «Лауреат Надировских чтений».

Образование: Астраханский техн. институт рыбной промышленности и хозяйства (1975).

Область научных интересов: проблемы энерго- и ресурсосбережения в нефтяной и газовой промышленности, установки на возобновляемых источниках энергии, топливные теплоэнергетические установки, анализ энергоэффективности различных видов установок.

Публикации: 190, из них в изданиях по списку ВАК – 20, монографий – 4, 12 патентов.

Information about the author: doctor of technical sciences, professor, head of the laboratory of nonconventional energetics of the energetic problem department of the Saratov research centre of the RAS at the ASTU.

Awards: Order of St. Anna of the 3rd degree, medal "Winner of Nadirovsky Readings".

Education: Astrakhan technical institute of fishing industry and economy (1975).

Research area: Problems power- and resource saving in the oil and gas industry, installations on renewables, fuel heat power installations, the analysis of energy efficiency of different types of installations.

Publications: 190, from them in editions according to the VAK list – 20, monographs – 4, 12 patents.

Анализ данных по тарифам на тепловую и электрическую энергию и ценам на ряд таких топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), как газ, мазут, уголь и др., показывает их неуклонный рост. Поэтому энергоустановки с возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ), в которых экономия ТЭР может составлять до 60-70% и более, станут достаточно привлекательными для значительной части потребителей, т.к. в ряде случаев позволят избежать зависимости от естественных монополий – производителей тепловой энергии и поставщиков ТЭР [1-5]. Разработанная авторами методика оценки экономической эффективности энергоустановок с ВИЭ заключается в определении таких основных технико-экономических показателей, как капитальные вложения, себестоимость получаемой тепловой энергии и срок окупаемости энергоустановок: солнечных водонагревательных установок (СВУ), ветроэнергоустановок и биогазовых установок [6].

Целями работы являются: комплексная оценка эффективности энергоустановок, использующих солнечную энергию для конкретных условий, в частности, для Астраханской области, на основе определения их технико-экономических показателей; выработка рекомендаций по их применению и совершенствованию; описание алгоритма создания экспери-

ментальной солнечной водонагревательной установки для последующих экспериментальных работ по определению ее эффективности с разработкой предложений по ее практическому использованию.

Срок экономической окупаемости СВУ может быть определен по полученной авторами универсальной формуле $T_o^{SWHU} = a_{SC} k_{SC} / (E_C \eta_{SWHU} C_{TЭ})$, где a_{SC} – коэффициент, учитывающий долю капитальных вложений в солнечные коллекторы в общие капитальные вложения в гелиоустановку; k_{SC} – удельные капитальные вложения, зависящие от типа гелиоколлектора, руб./м²; E_C – удельное годовое количество солнечной энергии, поступающей на гелиоколлектор, ГДж/м²·год; η_{SWHU} – энергетический КПД СВУ; $C_{TЭ}$ – стоимость замещающей тепловой энергии, руб./ГДж.

Коэффициент a_{SC} зависит от типа гелиоколлектора, конструкции теплового аккумулятора, вида металлоконструкций и циркуляционных трубопроводов. Анализ литературных данных [7, 8] показывает, что коэффициент $a_{SC} = 1,5-2,5 \approx 2,0$. Формула может быть использована для выбора оптимальной конструкции СВУ в зависимости от конструкции гелиоколлектора (солнечного коллектора), характеризующегося коэффициентами k_{SC} и η_{SWHU} , величиной

удельного годового количества солнечной энергии, поступающей на гелиоколлектор E_S , зависящей от географического расположения СВУ, и стоимостью замещающей энергии $C_{ТЭ}$, зависящей от типа альтернативного энергоисточника и стоимости используемого ТЭР.

Результаты расчетов по формуле для условий Астраханской области при значении коэффициента $a_{SC} = 2,0$, удельном годовом количестве солнечной энергии, поступающей на гелиоколлектор в теплый период года (с апреля по октябрь), $E_S = 4,016$ ГДж/м²-год, энергетическом КПД СВУ $\eta_{SWHU} = 0,50$ приведены на рис. 1.

Рис. 1. Зависимость срока окупаемости СВУ от удельной стоимости гелиоколлекторов и стоимости замещающей энергии

Fig. 1. The dependence of the payback period of the SWHU on the unit cost of the solar collectors and the cost of the inplaced energy

Как видно из рис. 1, срок окупаемости для южных регионов России T_o^{SWHU} увеличивается в пределах от 2 до 25 лет при увеличении удельных капитальных вложений в гелиоколлекторы k_{SC} от 5 тыс. руб./м² до 25 тыс. руб./м² и уменьшении стоимости замещающей энергии $C_{ТЭ}$ от 2,5 тыс. руб./ГДж до 1,0 тыс. руб./ГДж. Приемлемая для практического применения стоимость гелиоколлекторов при сроке окупаемости не более 7 лет составит от 7,0 до 17,7 тыс. руб./м² при увеличении стоимости замещающей тепловой энергии от 1,0 до 2,5 тыс. руб./ГДж. Следует, однако, отметить, что в настоящее время (на 2015 г.) тариф на тепловую энергию, например, в Астраханской области, составляет 338 руб./ГДж (1418 руб./Гкал), поэтому минимально допустимая стоимость гелиоколлекторов при сроке окупаемости 7,0 лет не должна превышать 2,3 тыс. руб./м² (59 \$/м²). Это условие должно выполняться при проектировании и широком внедрении гелиоустановок.

В России солнечные коллекторы серийно выпускаются Ковровским механическим заводом, предприятием «Конкурент», НПО машиностроения и рядом других предприятий [3, 7, 8]. Ковровским заво-

дом выпускаются коллекторы с оптимальным для российского рынка соотношением цена/качество. Площадь коллектора 0,8-1,07 м², стоимость 70 долл./м² (2,8 тыс. руб./м²). На их основе изготавливается солнечная водонагревательная установка с двумя коллекторами и теплоизолированным баком-аккумулятором. Стоимость 280 \$ (11,2 тыс. руб.). Солнечные коллекторы фирмы «Конкурент» имеют технические характеристики на уровне лучших зарубежных образцов. Площадь коллектора 1 м², стоимость – 220 \$ (8,8 тыс. руб.). Солнечные коллекторы НПО машиностроения имеют площадь коллектора 0,9-1,2 м², стоимость 230 \$/м² (9,2 тыс. руб./м²). Из зарубежных конструкций оптимальное соотношение цена/качество имеют израильские коллекторы трех видов: наиболее качественные стоимостью свыше 150 \$/м² (6 тыс. руб./м²), средние по качеству стоимостью до 150 \$/м² (6,0 тыс. руб./м²), стандартного качества стоимостью до 100 \$/м² (4,0 тыс. руб./м²). Таким образом, удельная стоимость гелиоколлекторов составляет 5,3-8,7 тыс. руб./м², а срок окупаемости достигает 8-16 лет, что делает их в большинстве случаев недоступными для широких масс потребителей со средними и низкими доходами.

Расчеты показывают, что оригинальные СВУ гравитационного типа с многоступенчатыми гелиоколлекторами из разнородных элементов, в том числе из более дешевых без остекления и с одинарным остеклением, требуют капитальных затрат в 1,4-1,6 ниже, чем традиционные СВУ циркуляционного типа, а срок окупаемости при использовании самых дешевых солнечных коллекторов для третьей ступени не превысит 5,0-5,7 лет. Поэтому их можно применить на многих объектах для теплоснабжения не только в малоэтажных зданиях совместно с газовыми и электрическими нагревателями, но и в многоэтажных зданиях совместно с блочными и крышными котельными, что позволяет сократить годовой расход газа на 40-60% [6, 9, 10].

Авторами создается экспериментальная солнечная водонагревательная установка для проведения дальнейших экспериментальных работ по определению ее технико-экономических показателей с целью выработки рекомендаций по ее дальнейшему производству и внедрению. Ниже приводится описание технологии процесса сборки солнечного коллектора.

Обрамление остекления СВУ выполнено из оконного профиля марки Wintech (рис. 2). Представляет собой универсальную, стандартную профильную систему, наиболее широко используемую на российском рынке. Система широко применяется в жилищном строительстве, она также имеет сертификат соответствия и решение санитарно-эпидемиологической экспертизы. Остекление изготовлено из двух стекол толщиной 4 мм марки М1, бутила, мастики, осушителя, соединительных уголков, дистанционной рамки толщиной 16 мм. Все компоненты собраны в стеклопакет (рис. 3).

Рис. 2. Оконный профиль для изготовления коллектора (в разрезе)
Fig. 2. The window profile for the collector production (in section)

Рис. 3. Лицевая часть коллектора
Fig. 3. The collector facepiece

Тепловоспринимающая поверхность изготавливается из алюминиевого профиля (рис. 4). Он представляет собой полые трубки. Скрепляем их между собой с помощью жидкого пластика (рис. 5). Далее крепится трубка, в которую будет поступать горячий теплоноситель. Для этого используем металлопластиковую трубу d16. Предварительно вырезаем в ней отверстие под теплообменник из алюминиевого профиля (рис. 6). Лицевую сторону очищаем от заводской краски, а затем надеваем подготовленные трубки на заготовку из алюминиевых трубок. На данном этапе мы получаем следующую конструкцию (рис. 7).

Рис. 4. Алюминиевый профиль
Fig. 4. The aluminum shape

Рис. 5. Внешний вид теплообменника из алюминиевого профиля
Fig. 5. The surface appearance of the heat exchanger from the aluminum shape

Рис. 6. Заготовка из пластиковой трубы для коллектора теплообменника
Fig. 6. The work part from the plastic pipe for the collector of the heat exchanger

Рис. 7. Внешний вид гелиоколлектора после сборки
Fig. 7. The physical form of the solar collector after the erection work

После сборки необходимо тщательно герметизировать полученную заготовку. При сборке поверхность необходимо покрыть сажей и простелить москитной сеткой для улучшения оптических свойств поверхности, поглощающей солнечную радиацию. Заднюю стенку коллектора изготавливаем из пенополиуретановой панели толщиной 24 мм для уменьшения тепловых потерь с задней поверхности коллектора. В задней панели с помощью шлифовального диска создаем углубление 12 мм. Это углубление – посадочное место тепловоспринимающей поверхности.

Рис. 8. Изоляционный слой задней стенки
Fig. 8. The insulation blanket of the backwall

Полученное углубление простилаем листом теплоотражающего материала для теплого пола. Изоляционный материал состоит из воздушно-пузырьковой пленки, ламинированной с одной стороны металлизированной полипропиленовой пленкой (рис. 8). Укладываем в полученную форму изготовленную тепловоспринимающую поверхность (рис. 9).

Рис. 9. Задняя стенка коллектора в сборе
Fig. 9. The ready-assembled backwall of the collector

Рис. 10. Внешний вид экспериментального коллектора
Fig. 10. The physical form of the experimental collector

Заднюю стенку крепим к пластиковой рамке с остеклением. Для подключения данной установки необходимо установить штуцеры на каждом патрубке для подвода и отвода воды.

Полученный солнечный коллектор представлен на рис. 10.

По работе можно сделать следующие выводы.

1. Срок окупаемости СВУ для южных регионов России увеличивается в пределах от 2 до 25 лет при увеличении удельных капитальных вложений в гелиоколлекторы k_{SC} от 5 до 25 тыс. руб./м² и уменьшении стоимости замещаемой энергии $C_{ТЭ}$ от 2,5 до 1,0 тыс. руб./ГДж. При тарифе на тепловую энергию 338 руб./ГДж (1418 руб./Гкал) минимально допустимая стоимость гелиоколлекторов при сроке окупаемости 7,0 лет не должна превышать 2,3 тыс. руб./м² (59 \$/м²).

2. Удельная стоимость гелиоколлекторов, выпускаемых в России и за рубежом, составляет 5,3-8,7 тыс. руб./м², а срок окупаемости достигает 8-16 лет. Предлагаемая авторами СВУ гравитационного типа имеет несложный технологический процесс сборки. Материалы, из которых предлагается изготавливать СВУ, в широком доступе. Капитальные затраты, по предварительным оценкам [6, 10], в 1,4-1,6 ниже, чем у традиционных СВУ циркуляционного типа, что повлечет снижение срока их окупаемости до 5-7 лет. Поэтому их можно применить для теплоснабжения не только малоэтажных зданий, но и многоэтажных зданий совместно с блочными и блочными крышными котельными, что позволит сократить годовой расход газа на выработку тепловой энергии.

Список литературы

1. Амерханов Р.А. Оптимизация сельскохозяйственных энергетических установок с использованием возобновляемых видов энергии. М.: Колос, 2003.
2. Марченко О.В., Соломин С.В. Системные исследования эффективности возобновляемых источников энергии // Теплоэнергетика. 2010. № 11. С. 12-17.
3. Оборудование нетрадиционной и малой энергетики: Справочник-каталог. 3-е изд. / Под ред. П.П. Безруких. М.: АО «Новые и возобновляемые источники энергии», 2005.
4. Фортон В.Е., Попель О.С. Энергетика в современном мире. Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект», 2011.
5. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года: утв. Распоряжением Правительства РФ от 13 ноября 2009 г. № 1715-з // Собрание законодательства РФ. 2009. № 48. Статья 5836.

References

1. Amerhanov R.A. Optimizaciâ sel'skohožâjstvennyh ènergetičeskikh ustanovok s ispol'zovaniem vozobnovlâemyh vidov ènergii. M.: Kolos, 2003.
2. Marčenko O.V., Solomin S.V. Sistemnye issledovaniâ èffektivnosti vozobnovlâemyh istočnikov ènergii // Teploènergetika. 2010. № 11. S. 12-17.
3. Oborudovanie netradicionnoj i maloj ènergetiki: Spravočnik-katalog. 3-e izd. / Pod red. P.P. Bezrukih. M.: AO «Novye i vozobnovlâemye istočniki ènergii», 2005.
4. Fortov V.E., Popel' O.S. Ènergetika v sovremennom mire. Dolgoprudnyj: Izdatel'skij dom «Intellect», 2011.
5. Ènergetičeskaâ strategiâ Rossii na period do 2030 goda: utv. Rasporâženiem Pravitel'stva RF ot 13 noâbrâ 2009 g. № 1715-z // Sobranie zakonodatel'stva RF. 2009. № 48. Stat'â 5836.

6. Шишкин Н.Д., Манченко Е.А. Системный анализ и алгоритмы расчета комбинированных солнечно-ветровых установок // Вестник Астраханского гос. техн. ун-та. Сер. Управление, вычислительная техника и информатика. 2013. № 1. С. 100-108.

7. Бутузов В.А., Брянцева Е.В., Бутузов В.В., Гнатюк И.С. Гелиоустановки: основные факторы экономической окупаемости // Промышленная энергетика. 2013. № 5. С. 55-57.

8. Бутузов В.А. Перспективы производства солнечных коллекторов в России // Промышленная энергетика. 2009. № 5. С. 47-49.

9. Ильин Р.А., Шишкин Н.Д. Совместная работа газовой котельной и солнечной водонагревательной установки в Астраханской области / Время научного прогресса: Материалы межд. научн. конф. Волгоград: Изд-во Научное обозрение, 2014. С. 21-26.

10. Шишкин Н.Д., Ильин Р.А. Использование солнечной энергии в Астраханской области // Вестник Астраханского гос. техн. ун-та. 2013. № 2. С. 74-79.

6. Šiškin N.D., Mančenko E.A. Sistemnyj analiz i algoritmy račeta kombinirovannyh solnečno-vetrovyyh ustanovok // Vestnik Astrahan-skogo gos. tehn. un-ta. Ser. Upravlenie, vyčislitel'naâ tehnika i informatika. 2013. № 1. S. 100-108.

7. Butuzov V.A., Brânceva E.V., Butuzov V.V., Gnatûk I.S. Gelioustanovki: osnovnye faktory èkonomičeskoj okupaemosti // Promyšlennaâ ènergetika. 2013. № 5. S.55-57.

8. Butuzov V.A. Perspektivy proizvodstva solnečnyh kollektorov v Rossii // Promyšlennaâ ènergetika. 2009. № 5. S. 47-49.

9. Il'in R.A., Šiškin N.D. Sovmestnaâ rabota gazovoj kotel'noj i solnečnoj vodonagrevatel'noj ustanovki v Astrahanskoj oblasti / Vremâ naučnogo progressa: Materialy mežd. naučn. konf. Volgograd: Izd-vo Naučnoe obozrenie, 2014. S. 21-26.

10. Šiškin N.D., Il'in R.A. Ispol'zovanie solnečnoj ènergii v Astrahanskoj oblasti // Vestnik Astrahanskogo gos. tehn. un-ta. 2013. № 2. S. 74-79.

Транслитерация по ISO 9:1995