

УДК620.91

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПЛОСКОГО СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА С ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В УСЛОВИЯХ УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА

А.В. Матвеев, С.Е. Щеклеин, В.М. Пахалюев

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»
РФ 620002, Екатеринбург, ул. Мира, д. 19
тел.: (343) 375-95-08; e-mail: a.v.matveev@urfu.ru

doi: 10.15518/isjaee.2015.10-11.005

Заключение совета рецензентов: 12.05.15 Заключение совета экспертов: 19.05.15 Принято к публикации: 27.05.15

В статье описана модель расчета производительности плоского солнечного коллектора с естественной циркуляцией теплоносителя в зависимости от основных конструктивных, теплотехнических и климатологических параметров. Выполнена оценка энергетической и эксергетической эффективности данной системы для условий Уральского региона. Предложенная методика может использоваться для количественной и качественной оценки выработки энергии и эксергии плоским солнечным коллектором с естественной циркуляцией теплоносителя на основе общедоступных данных для любого региона.

Ключевые слова: плоский солнечный коллектор, естественная циркуляция теплоносителя, солнечная радиация, энергетическая производительность, эксергетическая производительность.

METHOD FOR DETERMINING OF CAPACITY OF FLAT-PLATE SOLAR COLLECTOR WITH NATURAL CIRCULATION OF HEAT-TRANSFER FLUID IN THE URAL REGION

A.V. Matveev, S.E. Shcheklein, V.M. Pahaluev

Ural Federal University named after first President of Russia B.N. Yeltsin
19 Mir Str., Yekaterinburg, 620002 Russian Federation
ph.: (343) 375-95-08; e-mail: a.v.matveev@urfu.ru

Referred 12 May 2015 Received in revised form 19 May 2015 Accepted 27 May 2015

The article describes a model for calculating capacity of a flat-plate solar collector with natural circulation of heat-transfer fluid, depending on the basic constructive, thermal and climatological parameters. This article estimates energy and exergy efficiency of the system for the conditions of the Ural region as well. The proposed method can be used for quantitative and qualitative assessment of power and exergy generation by the flat-plate solar collector with natural circulation of heat-transfer fluid on the basis of publicly available data for any region.

Keywords: flat-plate solar collector, natural circulation of heat-transfer fluid, solar radiation, energy capacity, exergy capacity.



Матвеев Андрей Валентинович
Andrey V. Matveev

Сведения об авторе: канд. техн. наук, доцент ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», кафедра «Атомные станции и возобновляемые источники энергии».

Образование: УГТУ-УПИ инженер по специальности «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» (2004).

Награды и научные премии: Почетная грамота министерства энергетики и жилищно-коммунального хозяйства Свердловской области за активную работу со студентами по повышению энергоэффективности и развитию новых источников энергии (2011).

Область научных интересов: возобновляемая энергетика, солнечная энергетика, ветроэнергетика, солнечные коллекторы, паровые турбины, газопоршневые электростанции.

Публикации: более 25, в том числе 5 в рецензируемых журналах.

Information about the author: PhD (engineering), associate professor of Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, "Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources" department.

Education: Ural State Technical University with a degree in engineering, "Alternative and Renewable Sources of Energy" (2004).

Awards and scientific awards: certificate of merit of the Ministry of Energy and Housing and Utilities of the Sverdlovsk region for their active work with students to improve energy efficiency and the development of new energy sources (2011).

Research area: renewable energy, solar power engineering, wind energy, solar collectors, steam turbines, gas-fired power plant.

Publications: more than 25, including 5 in peer-reviewed journals.



Пахалуев Валерий Максимович
Valery M. Pahaluev

Сведения об авторе: д-р техн. наук, профессор ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», кафедра «Атомные станции и возобновляемые источники энергии»; Действительный член Международной АН о природе и обществе.

Образование: Уральский политехнический институт (УГТУ-УПИ) (1961).

Награды и научные премии: Почетная грамота министерства энергетики и жилищно-коммунального хозяйства Свердловской области за многолетний добросовестный труд по подготовке кадров для энергетических предприятий страны (2011).

Область научных интересов: исследования теплофизических и физико-химических процессов в теплоэнергетике и металлургической теплотехнике, разработка физических основ нетрадиционных и возобновляемых источников энергии.

Публикации: более 90, в том числе 1 монография.

Information about the author: DSc (engineering), professor of Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, "Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources" department; a member of International A.S. of Nature and Society.

Education: Ural State Technical University (1961).

Awards and scientific awards: certificate of merit of the Ministry of Energy and Housing and Utilities of the Sverdlovsk region for many years of hard work on the training for energy companies in the country (2011).

Research area: analysis of thermophysical and physical and chemical processes in thermoenergetics and metallurgy heat engineering; development of physical basis for the alternative and renewable power sources.

Publications: more than 90, including 1 monograph.





Щеклеин Сергей Евгеньевич
Sergey Ye. Shcheclein

Сведения об авторе: д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина».

Образование: Уральский политехнический институт (УГТУ-УПИ) (1972).

Награды и научные премии: Заслуженный энергетик Российской Федерации, действительный член Международной энергетической академии; национальная экологическая премия им. В.И. Вернадского; медаль «Ветеран атомной энергетики и промышленности».

Область научных интересов: термодинамика ядерных энергетических установок, проблемы атомной энергетики и теплофизики двухфазных потоков, продление ресурса и повышение надежности оборудования АЭС, солнечная энергетика, ветроэнергетика, биоэнергетика.

Публикации: более 350, в том числе 2 монографии, 20 изобретений.

Information about the author: DSc (engineering), professor, Head of "Nuclear Power Plants and Renewable Energy Sources" department of Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin.

Education: Ural State Technical University (1972).

Awards and scientific awards: Honored Power Engineer of the Russian Federation, Member of the International Energy Academy; National Environmental Prize V.I. Vernadsky; Medal "Veteran of Nuclear Energy and Industry".

Research area: nuclear power units thermodynamics; questions of nuclear energy and thermophysics of the two-phase flows; NPP equipment lifetime enduring and reliability increasing; solar, wind and bioenergetics.

Publications: more than 350, including 2 monographs, 20 inventions.

Введение

Простейший и наиболее дешевый способ использования солнечной энергии – нагрев воды для бытовых нужд в плоских солнечных коллекторах (СК), работающих на термосифонном эффекте. Гелиоустановки подобного типа содержат непосредственно коллектор солнечной энергии, бак-аккумулятор горячей воды, подъемную и опускную трубы. Установки просты в изготовлении и эксплуатации и являются саморегулирующимися системами, причем управляющий параметр в таких системах – расход циркулирующей жидкости, который определяется интенсивностью падающего солнечного излучения, а также теплотехническими и гидравлическими характеристиками всех ее элементов.

Выработка энергии солнечным коллектором напрямую зависит от его географического положения, обуславливающего приход солнечной энергии и возможный период эксплуатации коллектора в течение года. Россия имеет большую территорию с климатом, меняющимся в широких пределах. Очевидно, что с наибольшей эффективностью солнечные коллекторы можно применять в южных районах, поскольку там наблюдается наибольший приход энергии в течение года. В более северных регионах, например в Свердловской области, в летний период среднесуточная интенсивность солнечной радиации находится на уровне 250 Вт/м^2 , достигая пиковых значений в полдень при ясном небе $800\text{--}1000 \text{ Вт/м}^2$, что вполне достаточно для успешной работы водонагревательной системы. Свои ограничения на использование систем солнечного теплоснабжения (ССТ) накладывает температурный режим местности, определяющий период времени, в течение которого мож-

но использовать солнечные коллекторы. Если ССТ функционирует по одноконтурной схеме с водным теплоносителем, то рекомендуется прекращать работу установки при температуре окружающей среды $+3^\circ\text{C}$, чтобы избежать возможности ее замерзания. Поэтому на территориях с относительно холодным климатом следует использовать ССТ, работающие по двухконтурной схеме, когда в первом контуре солнечного коллектора рабочим телом является жидкость с низкой температурой замерзания (антифриз, тосол, раствор этиленгликоля). Применение данной схемы позволяет увеличить продолжительность эксплуатации солнечного коллектора в течение года за счет межсезонных периодов, когда по ночам наблюдаются отрицательные температуры окружающей среды при положительных ее значениях в дневное время.

Теоретическая часть

При выборе систем солнечного теплоснабжения необходимо оценить не только энергетические возможности солнечной радиации в данной местности, но и энергетическую производительность данного типа коллектора. В качестве базовой конструкции был выбран СК производства ОАО «Каменск-Уральский металлургический завод», гидравлические и теплотехнические характеристики которого определялись как на лабораторном стенде, так и в условиях натурных испытаний в районе Свердловской области. Поглощающая панель данного коллектора изготовлена из коррозионностойкого алюминиевого сплава методом диффузионно-прокатной сварки двух листов толщиной $2,5 \text{ мм}$ с последующим раздутием каналов. Габаритная площадь составляет



1,62 м², суммарное сечение каналов эллипсоидального профиля (10х30 мм) для прохода теплоносителя равно 0,002 м², коллектор имеет одинарное остекление. В результате проведенных исследований были получены основные гидравлические и теплотехнические характеристики СК, зависимости, определяющие суточное изменение интенсивности солнечного излучения, приходящего на поверхность коллектора, и суточное изменение КПД коллектора, что позволило сформулировать математическую модель работы солнечного коллектора с естественной циркуляцией теплоносителя [1–4].

Для расчета годовой выработки тепловой энергии коллектором необходимо оценить приход солнечной радиации на плоскость СК за этот период. Ввиду того, что солнечные коллекторы чаще всего имеют фиксированное положение под некоторым углом к направлению распространения солнечных лучей, приход солнечной радиации на плоскость коллектора можно определить, пользуясь методикой изложенной в [3, 4], по формуле:

$$Q_{\text{приход}}^{\text{день}} = q_{\text{max}} \int_{\tau_{\text{восх}}}^{\tau_{\text{зак}}} \exp \left[-18,6 \left(\frac{\tau_{\text{max}}}{T_c} \right)^2 \cdot \left(1 - \frac{\tau}{\tau_{\text{max}}} \right)^2 \right] d\tau, \quad (1)$$

где q_{max} – максимальное значение интенсивности солнечной радиации, приходящей на плоскость коллектора в течение светового дня; $\tau_{\text{восх}}$, $\tau_{\text{зак}}$ – время восхода и время заката солнца; τ_{max} – полдень по истинному солнечному времени; T_c – продолжительность солнечного сияния в течение дня; τ – фактическое местное декретное время.

При проведении расчетов в качестве значения максимальной интенсивности солнечной радиации q_{max} , приходящей на поверхность коллектора за день, берется сумма значений прямой и рассеянной радиации за 12 ч 30 мин по истинному солнечному времени по данным [5, 6], обработанным по методике [7, 8], которая учитывает склонение солнца, часовой угол, географическое положение и наклон поверхности СК. Этот выбор обусловлен тем, что данный срок (12 ч 30 мин) наиболее близок к полудню по истинному солнечному времени, когда интенсивность солнечной радиации максимальна (время τ_{max}), а коллектор наиболее эффективно ориентирован на солнце. Продолжительность солнечного сияния T_c , время восхода $\tau_{\text{восх}}$ и время заката $\tau_{\text{зак}}$ солнца рассчитываются по методике, предложенной в [8], для любого дня года.

Полученное выражение (1) можно проинтегрировать с использованием интеграла вероятности:

$$\Phi^*(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-0,5t^2} dt. \quad (2)$$

Для этого необходимо ввести новую переменную интегрирования

$$t = \sqrt{37,2} \cdot \left(\frac{\tau_{\text{max}}}{T_c} \right) \cdot \left(1 - \frac{\tau}{\tau_{\text{max}}} \right), \quad (3)$$

что позволяет записать решение (1) в виде:

$$Q_{\text{приход}} = q_{\text{max}} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{18,6}} \cdot T_c \cdot [\Phi^*(t_2) - \Phi^*(t_1)], \quad (4)$$

где $\Phi^*(t_1)$ и $\Phi^*(t_2)$ – табличные значения интегралов вероятности, зависящие от текущего промежутка времени интегрирования.

При выборе τ/τ_{max} от 0,5 до 1,5, что отвечает граничным значениям эффективности работы СК при $q \geq 0,05$ кВт/м², приход солнечной радиации определяется следующим образом:

$$Q_{\text{приход}}^{\text{день}} = 0,987 \cdot q_{\text{max}} \sqrt{\frac{\pi}{18,6}} \cdot T_c. \quad (5)$$

В справочниках по климату [5, 6] обычно приводятся годовые и месячные суммарные значения радиации для условий ясного неба и средней облачности, а также количество дней с различными условиями облачности для каждого месяца. С учетом этих данных и зависимости (1) суммарная энергия солнечного излучения, приходящая на единицу поверхности солнечного коллектора за месяц, находится как:

$$Q_{\text{прих}}^{\text{месяц}} = Q_{\text{прих}}^{\text{ясн. день}} (N_{\text{мес}} - N_{\text{обл}}) + Q_{\text{прих}}^{\text{обл. день}} N_{\text{обл}}, \quad (6)$$

где $Q_{\text{прих}}^{\text{ясн. день}}$ и $Q_{\text{прих}}^{\text{обл. день}}$ – значения суммарной радиации, приходящей на поверхность солнечного коллектора за средний день месяца, которые рассчитываются по (1) для условий ясного неба и средних условий облачности; $N_{\text{мес}}$ – количество дней в месяце; $N_{\text{обл}}$ – среднее число пасмурных дней по общей облачности за данный месяц [5, 6]. Расчет по среднему дню месяца обеспечивает достаточную точность (с погрешностью менее 10 %). На рис. 1 приведено изменение суммарной радиации, приходящей на плоскость СК, обращенного на юг под углом наклона, который равен широте местности, за каждый месяц в течение года, и рассчитанное по формуле (6) с использованием данных метеостанции в г. Верхнее Дуброво (Свердловская область, окрестности г. Екатеринбург).

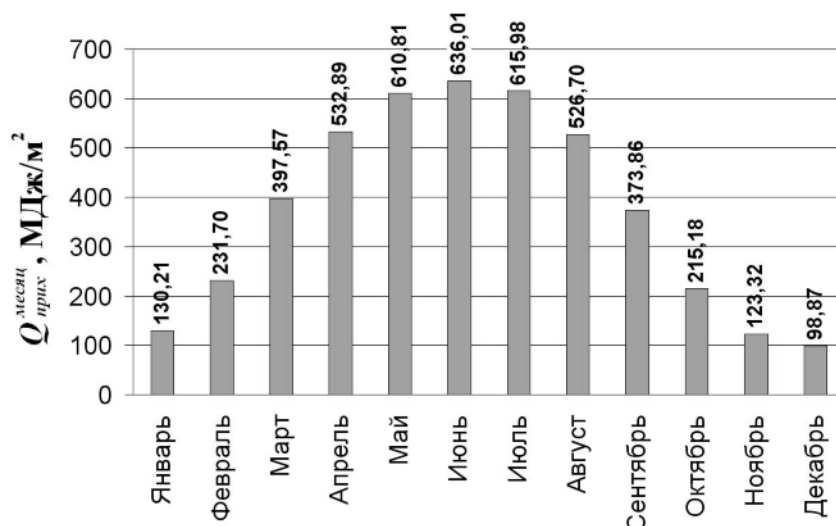


Рис. 1. Изменение суммы солнечной радиации, приходящей на плоскость СК, за каждый месяц в течение года (г. Верхнее Дуброво [5, 6])

Fig. 1. The changes in the total radiation falling on the solar collector plane for each month during the year (Verhnee Dubrovo [5, 6])

Для оценки энергетической производительности солнечного коллектора в расчетах, помимо суточного изменения прихода радиации, необходимо учитывать и суточное изменение КПД солнечного коллектора. Принимая во внимание полученные в ходе про-

ведения экспериментов соотношения [3, 4], энергетическую производительность солнечного коллектора за сутки в режиме естественной циркуляции можно определить по формуле:

$$Q_{\text{СК}}^{\text{день}} = q_{\text{max}} \eta_{\text{max}} F_{\text{к}} \int_{\tau_{\text{восх}}}^{\tau_{\text{зак}}} \exp \left[-18,6 \left(\frac{\tau_{\text{max}}}{T_{\text{с}}} \right)^2 \cdot \left(1 - \frac{\tau}{\tau_{\text{max}}} \right)^2 - 2,2 \left(1,2 - \frac{\tau}{\tau_{\text{max}}} \right)^2 \right] d\tau, \quad (7)$$

где η_{max} – максимальный КПД, достигаемый СК за день; $F_{\text{к}}$ – площадь солнечного коллектора. Выражение (7) можно проинтегрировать с использованием интеграла вероятности (2) и теоремы о среднем значении η/η_{max} при $\tau/\tau_{\text{max}} = 1,2$, в результате чего получим:

$$Q_{\text{СК}}^{\text{день}} = 0,903 \sqrt{\frac{\pi}{18,6}} q_{\text{max}} \eta_{\text{max}} F_{\text{к}} T_{\text{с}}. \quad (8)$$

Расчет производительности солнечного коллектора за месяц осуществлялся с учетом количества пасмурных дней $N_{\text{обл}}$ по формуле:

$$Q_{\text{СК}}^{\text{месяц}} = Q_{\text{СК}}^{\text{ясн. день}} (N_{\text{мес}} - N_{\text{обл}}) + Q_{\text{СК}}^{\text{обл. день}} N_{\text{обл}}, \quad (9)$$

где $Q_{\text{СК}}^{\text{ясн. день}}$ и $Q_{\text{СК}}^{\text{обл. день}}$ – производительность солнечного коллектора за средний день месяца для условий ясного неба и условий облачности.

Для оценки эффективности работы солнечного коллектора необходимо оценить качество вырабатываемой им энергии. Для этого определялась эксергия теплоты, производимой солнечным коллектором, по формуле:

$$E_{\text{СК}} = Q_{\text{СК}} \cdot \left[1 - \frac{T_0}{T_{\text{бак}}(\tau)} \right], \quad (10)$$

где $Q_{\text{СК}}$ – энергия, которая вырабатывается солнечным коллектором и определяется по соотношению (9); T_0 – температура окружающей среды; $T_{\text{бак}}(\tau)$ – температура теплоносителя в баке-аккумуляторе.

Для того чтобы определить температуру теплоносителя в баке-аккумуляторе $T_{\text{бак}}$, было составлено уравнение теплового баланса:

$$c_p \rho V_{\text{бак}} \frac{d(T_{\text{бак}}(\tau) - T_0)}{d(\tau/\tau_{\text{max}})} = Q_{\text{СК}} - k F_{\text{бак}} (T_{\text{бак}}(\tau) - T_0), \quad (11)$$

где c_p , ρ – теплоемкость и плотность теплоносителя; $V_{\text{бак}}$, $F_{\text{бак}}$ – объем и площадь поверхности бака-аккумулятора; k – коэффициент теплопередачи. В формуле (11) не учтены потери энергии через трубопроводы, поскольку их величина незначительна и составляет менее 1% от производительности солнечного коллектора.

Из уравнения (11) было получено выражение

$$T_{\text{бак}}(\tau) = T_0 + (c_p \rho V_{\text{бак}})^{-1} \times \exp\left(-\frac{kF_{\text{бак}}}{c_p \rho V_{\text{бак}}} \cdot \tau_{\text{max}} \cdot \left[\frac{\tau}{\tau_{\text{max}}} - 0,5\right]\right) \cdot Q_{\text{СК}} \quad (12)$$

Относительная погрешность определения температуры воды в баке-аккумуляторе по сравнению с результатами испытаний солнечного коллектора в натурных условиях составляла не более 7 %.

На рис. 2 приведены результаты расчетов производства энергии солнечным коллектором, работающим в режиме естественной циркуляции, по формуле (9) и данным [5, 6] для метеостанции в г. Верхнее Дуброво, а также выработка эксергии, рассчитанная по формулам (10) и (12) с применением методики, аналогичной методике (9) для определения производства энергии. При расчетах эксергии за температуру окружающей среды бралась среднемесячная температура по данным [9], а в качестве бака-аккумулятора – емкость диаметром 0,4 м, и высотой 0,67 м.

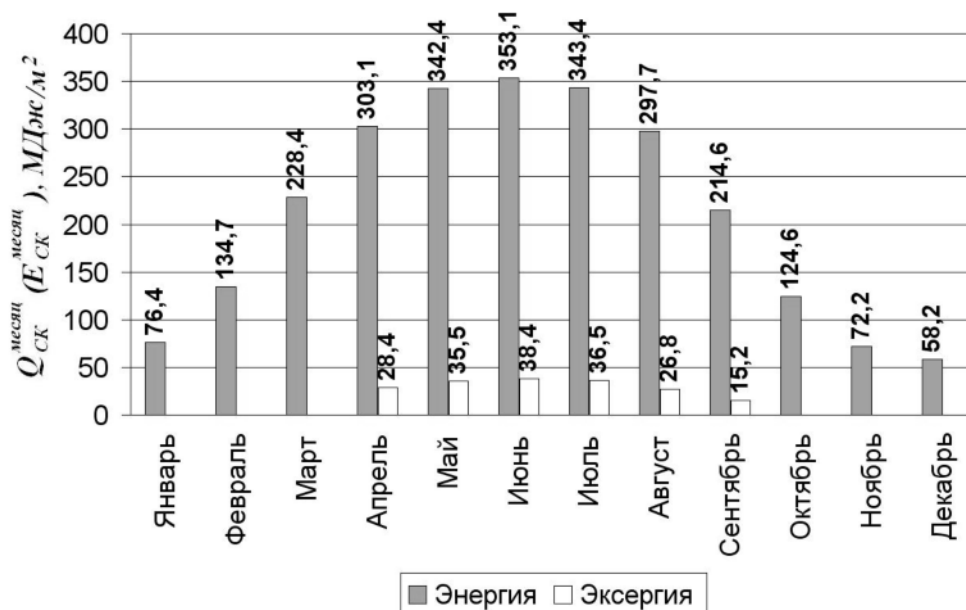


Рис. 2. Изменение производства энергии и эксергии солнечным коллектором в течение года (г. Верхнее Дуброво [5, 6])
Fig. 2. Changes in the production of energy and exergy by solar collector during the year (Verhnee Dubrovo [5, 6])

Заключение

Основываясь на результатах проведенных экспериментов и выполненных расчетов можно сделать следующий вывод: приход солнечной энергии в условиях Уральского региона достаточен для того, чтобы обеспечить работу систем горячего водоснабжения с естественной циркуляцией теплоносителя для покрытия нагрузки горячего водоснабжения небольших потребителей в летний период. Как видно на рис. 2, эксергетическая производительность установки составляет 8–10 % от ее энергетической производительности. Это вызвано относительно низкой температурой нагрева воды в баке-аккумуляторе (до 60–80 °C) за один цикл, т.е. за сутки, что значительно снижает качество вырабатываемой коллектором энергии, но достаточно для использования теплоносителя в быту на нужды горячего водоснабжения.

Приведенная в работе схема определения энергетической и эксергетической производительности

одноконтурной водонагревательной установки позволяет производить вычисления за различные периоды времени (день, месяц, год) и в зависимости от географического положения установки. В расчетах используются достаточно простые выражения для суточных изменений интенсивности солнечного излучения и КПД коллектора, а также общедоступные справочные данные по климату РФ.

Список литературы:

1. Матвеев А.В., Пахалуев В.М., Щеклеин С.Е. Применение искусственного освещения при теплотехнических испытаниях солнечных коллекторов // Энергосбережение: состояние и перспективы: Труды VIII Всероссийского совещания-выставки по энергосбережению. Екатеринбург, 20–21 марта 2007 г. Екатеринбург: ООО «РИА «Энерго-Пресс», 2007. С. 110–112.
2. Матвеев А.В., Щеклеин С.Е. Особенности ис-

пользования солнечного коллектора в Уральской климатической зоне. Сборник научных трудов: Перспективные энергетические технологии. Экология. Экономика, безопасность и подготовка кадров. Екатеринбург, 2006. С. 150–153.

3. Матвеев А.В., Пахалуев В.М., Щеклеин С.Е. Модель расхода теплоносителя солнечного коллектора в режиме естественной циркуляции // Энергосбережение: состояние и перспективы: Труды VIII Всероссийского совещания-выставки по энергосбережению, Екатеринбург, 20–21 марта 2007 г., Екатеринбург: ООО «РИА «Энерго-Пресс», 2007. С. 112–113.

4. Матвеев А.В., Пахалуев В.М., Щеклеин С.Е. Работа солнечного коллектора в режиме естественной циркуляции теплоносителя // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE), 2007. № 4. С. 147–150.

5. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3: многолетние данные, части 1–6. Выпуск 9: Пермская, Свердловская, Челябинская, Курганская области, Башкирская АССР. Ленинград: Гидрометеиздат, 1990. 557 с.

6. Справочник по климату СССР. Выпуск 9: Пермская, Свердловская, Челябинская, Курганская области и Башкирская АССР. Солнечная радиация, радиационный баланс и солнечное сияние. Ленинград: Гидрометеорологическое издательство, 1966.

7. Безруких П.П., Арбузов Ю.Д., Борисов Г.А., Виссарионов В.А., Евдокимов В.М., Малинин Н.К., Огородов Н.В., Пузаков В.Н., Сидоренко Г.И., Шпак А.А. Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России. СПб: Наука, 2002. 314 с.

8. Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кривенкова С.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.Г. Расчет ресурсов солнечной энергетики. Учебное пособие. М.: издательство МЭИ, 1998. 59 с.

9. СНиП 23-01-99 «Строительная климатология».

References

1. Matveev A.V., Pahaluev V.M., Shcheklein S.E. Primenenie iskusstvennogo osvešeniâ pri teplotehničeskikh ispytaniâh solnečnyh kollektorov. *Ènergobereženie: sostoânie i perspektivy: Trudy VIII Vserossijskogo sovešaniâ-vystavki po ènergobereženiû*, Yekaterinburg, 20–21 March 2007, Yekaterinburg: ООО

«RIA «Ènergo-Press» Publ., 2007, pp. 110–112 (in Russ.).

2. Matveev A.V., Shcheklein S.E. Osobennosti ispol'zovaniâ solnečnogo kollektora v Ural'skoy klimatičeskoj zone. Collection of scientific papers: Perspektivnye ènergetičeskie tehnologii. Èkologiâ. Èkonomika, bezopasnost' i podgotovka kadrov. Yekaterinburg: 2006, pp. 150–153 (in Russ.).

3. Matveev A.V., Pahaluev V.M., Shcheklein S.E. Model' rashoda teplonositelâ solnečnogo kollektora v režime estestvennoj cirkulâcii. *Ènergobereženie: sostoânie i perspektivy: Trudy VIII Vserossijskogo sovešaniâ-vystavki po ènergobereženiû*, Yekaterinburg, 20–21 March 2007, Yekaterinburg: ООО «RIA «Ènergo-Press» Publ., 2007, pp. 112–113 (in Russ.).

4. Matveev A.V., Pahaluev V.M., Shcheklein S.E. Rabota solnečnogo kollektora v režime estestvennoj cirkulâcii teplonositelâ. International Scientific Journal "Al'ternativnaâ ènergetika i èkologiâ" (ISJAEE), 2007, no. 4, pp. 147–150 (in Russ.).

5. Handbook of Research and Applied USSR Climate. Chapter 3: mnogoletnie dannye; parts 1–6, issue 9: Permskaâ, Sverdlovskaa, Čelâbinskaâ, Kurganskaâ oblasti, Baškirskaâ ASSR. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1990. 557 p. (in Russ.).

6. USSR climate handbook, issue 9: Permskaâ, Sverdlovskaa, Čelâbinskaâ, Kurganskaâ oblasti i Baškirskaâ ASSR. Solnečnaâ radiaciâ, radiacionnyj balans i solnečnoe siânie. Leningrad: Gidrometeorologičeskoe izdatel'stvo Publ., 1966 (in Russ.).

7. Bezrukih P.P., Arbuzov Yu.D., Borisov G.A., Vissarionov V.A., Evdokimov V.M., Malinin N.K., Ogorodov N.V., Puzakov V.N., Sidorenko G.I., Shpak A.A. Resursy i èffektivnost' ispol'zovaniâ vozobnovlâemyh istočnikov ènergii v Rossii. SPb: Nauka, 2002, 314 p. (in Russ.).

8. Vissarionov V.I., Deryugina G.V., Krivenkova S.V., Kuznetsova V.A., Malinin N.G. Rasčet resursov solnečnoj ènergetiki. Učebnoe posobie, Moscow: izdatel'stvo MÈI Publ., 1998, 59 p. (in Russ.).

9. SNiP 23-01-99 «Stroitel'naâ klimatologiâ» (in Russ.).

Транслитерация по ISO 9:1995

