

УДК 338.28

ОЦЕНКА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОЛНЕЧНЫХ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Слесаренко И.В.

ФГАОУ ВПО «Дальневосточный федеральный университет»,
Владивосток, e-mail: ivslesarenko@rambler.ru

В работе представлены результаты исследований, подтверждающие высокую экономическую и технологическую эффективность применения гелиоустановок для обеспечения теплоснабжения жилых зданий и социальных объектов. Оценка эффективности использования гелиоустановок позволит правильно оценить практическую значимость их использования в разных регионах и климатических условиях. В работе методы анализа и интерпретации результатов прогнозов, разработанные на основе прогнозируемой методологии разработки программного обеспечения, применялись для исследования характеристик системы теплоснабжения на предпроектном уровне для обоснования применения гелиоустановок на социальных и промышленных объектах Дальневосточного региона. В работе приведена апробированная методика оценки технико-экономических показателей систем теплоснабжения, конструируемых на основе применения гелиоустановок, агрегатов для утилизации и накопления тепловой энергии, современных средств автоматизации и регулирования. Представлены результаты исследований, подтверждающие высокую экономическую и технологическую эффективность применения гелиоустановок для обеспечения теплоснабжения жилых зданий и социальных объектов Дальневосточного региона. Выполненная сравнительная оценка технико-экономических и эксплуатационных показателей систем теплоснабжения с различными источниками первичной энергии (газовыми, дизельными и угольными котельными, электродкотлами, солнечными установками, тепловыми насосами) подтверждает целесообразность применения солнечных водонагревательных установок при создании систем энергообеспечения социальных и промышленных объектов.

Ключевые слова: гелиоустановки, экономические показатели, срок окупаемости, эффективность

EVALUATION OF TECHNICAL AND ECONOMIC PERFORMANCE OF SOLAR WATER HEATING SYSTEMS

Slesarenko I.V.

Far Eastern Federal University, Vladivostok, e-mail: ivslesarenko@rambler.ru

The paper presents the results of studies confirming the high economic and technological efficiency of solar installations for heating of residential buildings and social facilities. Substantiate the practical application of solar water heating systems by proper estimation of their working parameters in different regions and climatic conditions. This paper describes the application of analytical methods and interpretation of studied results, based on software projects development. The methods help to study the heating systems' characteristics before their practical appliances at social and industrial facilities in Far East of Russia. The paper explains improved methodology of technical and economic assessment for the heating systems with solar collectors, other components for heat accumulation, and advanced automated control. The performed technical comparative assessment of solar water heating systems with a variety of primary energy sources (gas, diesel, coal-fired, and electric boilers, solar installations, and heat pumps) supports the use of solar water heating systems for the energy supply systems at the industrial facilities.

Keywords: solar plants, economic indicators, the payback period, the effectiveness

Ежегодно в России увеличиваются расходы на эксплуатацию тепловых сетей и котельных установок. Известные проблемы эксплуатации централизованного теплоснабжения настоятельно требуют ускоренного внедрения нетрадиционных методов энергообеспечения [3, 4, 6, 11, 9]. Анализ работы действующих на территории России гелиоустановок показывает [5, 7, 10, 12], что использование гелиотехники для целей отопления требует решения ряда проблем. Практически значимым и перспективным является применение солнечных водонагревательных установок (СВНУ) в целях горячего водоснабжения. Это определяется, прежде всего, климатическими условиями РФ, причем к системам горячего водоснабжения не

предъявляются жесткие требования по надежности, как к системам отопления.

Применение традиционных типов солнечных водонагревательных установок позволяет покрыть до 60% потребностей потребителей в теплоте, используемой в системе ГВС. В то же время при разработке комбинированных СВНУ доля ГВС от гелиосистем может достигать 100%, а эффективное использование тепловых насосов (ТН) и систем аккумуляции теплоты (САТ) позволяет покрыть за счет возобновляемых источников энергии (ВИЭ) 30–50% отопительной нагрузки, поэтому использование СВНУ в Дальневосточном регионе является актуальной проблемой. При оценке технико-экономических показателей гелиоустановок для данного региона обычно

устанавливается, что применение гелиотехники экономически целесообразно при заданном уровне цен на ископаемое топливо, тепловую и электрическую энергию, оборудование, материалы, транспортные услуги и т.д. [1, 2, 5, 8].

По имеющимся данным в 2014 г. в Приморском крае 25% населения не обеспечивалось централизованно тепловой энергией. Эксплуатируются 140 тысяч частных домов, 150 тысяч дачных участков и 2500 фермерских хозяйств. На отопление этих потребителей ежегодно расходуется более 500 тыс. тонн угля, до 50 тыс. тонн жидкого топлива. В Приморском крае работают более 1100 котельных, имеющих КПД значительно ниже 85%. Большое количество малых производственных предприятий в городе и сельской местности не обеспечивалось вне отопительного периода тепловой энергией в виде ГВС.

Значительная часть социальных объектов обеспечивается горячим водоснабжением в летний период только от электробойлеров или котлов на жидком топливе с высокими тарифами на отпускаемую тепловую энергию. При этом имеет место ежегодный рост тарифов на 10–15%. Часть этих объектов целесообразно оснащать СВНУ и тепловыми насосами. По укрупненным расчетам, суммарная потребность Приморского края в солнечных коллекторах в перспективе составляет до 1 млн м². При этом может быть обеспечена годовая экономия органического топлива в объеме до 100000 т.у.т. и значительно сокращены выбросы вредных веществ в атмосферу. Кроме этого, улучшаются социально-бытовые условия жизни населения и экономятся непосредственные затраты труда на отопление и горячее водоснабжение.

Цель исследования состоит в разработке методики оценки технико-экономических показателей (ТЭП) эффективности использования СВНУ в системах горячего водоснабжения для различных климатических регионов. Для решения поставленной проблемы рассмотрены и решены следующие задачи:

– проведен анализ показателей действующих на территории России гелиоустановок по средней выработке тепловой энергии 600–800 кВт·ч/м² в год (максимальная до 1050 кВт·ч/м² в год), по экономии органического топлива: около 100 кг у.т./м² (установка с площадью солнечных коллекторов 30 м² в целом экономит около 3-х тонн у.т.), по снижению выбросов: 0,6–0,7 кг СО₂ на 1 кВт·ч выработанной тепловой энергии (1 м² солнечного коллектора предотвращает выброс 350–730 кг углекислого газа в год);

– в результате проведенного анализа разработана методология для оценки технико-экономических показателей гелиосистем с учетом климатических, экологических и экономических факторов;

– разработано программное обеспечение для исследования характеристик системы теплоснабжения для социальных и промышленных объектов на предпроектном уровне.

Материалы и методы исследования

Для определения характеристик системы теплоснабжения, включающей СВНУ с тепловым аккумулятором, разработана программа для персонального компьютера (ПК), позволяющая рассчитывать основные параметры гелиосистемы и рассчитывать ее ТЭП при проведении предпроектных изысканий. Разработанная программа использовалась для обоснования применения СВНУ на ряде социальных и промышленных объектов Дальневосточного региона [12].

Оценка ТЭП выполнена в процессе проектирования и внедрения СВНУ для горячего водоснабжения многоквартирного жилого дома, расположенного в микрорайоне «Снеговая падь» г. Владивостока (рис. 1).

Характеристика объекта. Объект представляет собой многоэтажное 90-квартирное жилое здание. Крыша здания – плоская эксплуатируемая. Альтернативный источник тепла для нагрева горячей воды: электродкотел. Географические координаты: широта – 43,1°N; долгота – 131,9°E.

Структура и ТЭП установки. СВНУ состоит из трубчатых вакуумных коллекторов с общей площадью поглощающего слоя 96,4 м² (40 коллекторов ES-30-58-1800), развернутых на юг под углом 60° к горизонту, бака-аккумулятора (емкостного накопителя) объемом 10 м³, электрического отопительного котла, теплообменника греющего контура, циркуляционных насосов, системы автоматизации и соединительных трубопроводов. В качестве теплоносителя в контуре солнечных коллекторов использована незамерзающая жидкость на основе пропиленгликоля. Режим работы установки – круглогодичный в автоматическом режиме. Место размещения коллекторов – крыша здания, размещение емкостного накопителя – на техническом этаже. Результаты расчета ТЭП системы ГВС с СВНУ приведены на рис. 2 и 3. Годовая выработка тепловой энергии СВНУ составляет 137208 кВт·ч/год (около 2,2 тыс. т горячей воды в год) при среднегодовой суточной выработке 7,12 т/сут. При нормативном потреблении для жилых домов 105 л/чел. в сутки внедрение СВНУ позволяет полностью обеспечить горячей водой до 68 человек. Замещение тепловой энергии солнечной водонагревательной установкой, требуемой для подогрева воды, равно 19%.

Результаты исследования и их обсуждение

Расчет срока окупаемости СВНУ. Сравнительная оценка технико-экономических показателей процесса ГВС при применении различных систем теплоснабжения и при заданной тепловой нагрузке для Дальневосточного региона приведена в таблице. Расход теплоты в системе теплоснабжения

составил 268 Гдж/год при отпуске воды 1825 м³/год. При расчете ТЭП указанных вариантов приняты текущие средние фиксированные стоимости энергоресурсов (угля, газа, электроэнергии и дизельного топлива), а также тариф на тепловую энер-

гию. При этом стоимость 1 м³ горячей воды от дизельного котла C_d является наиболее дорогой (таблица), поэтому она выбрана для дальнейшего сравнительного расчета ТЭП в качестве базовой максимальной стоимости.

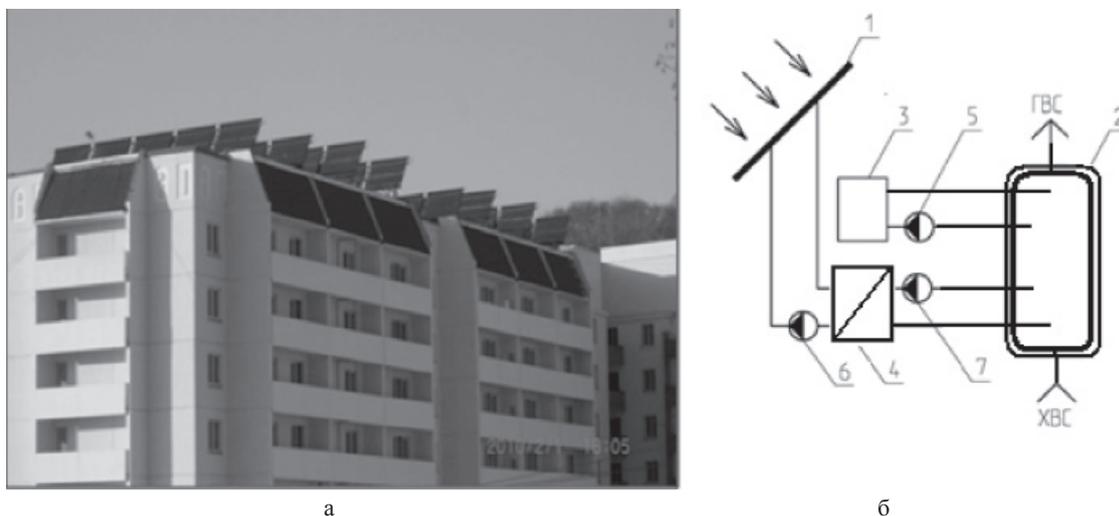


Рис. 1. Общий вид здания после монтажа СВНУ (а) и принципиальная схема установки (б) для горячего водоснабжения:

1 – солнечный коллектор; 2 – емкостный теплоизолированный накопитель; 3 – электрический котел; 4 – теплообменник; 5–7 – циркуляционные насосы

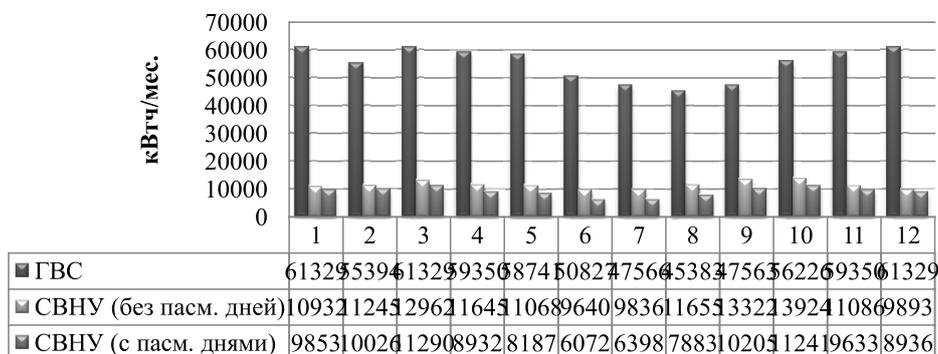


Рис. 2. Ожидаемые теплотребление и теплоступление от СВНУ

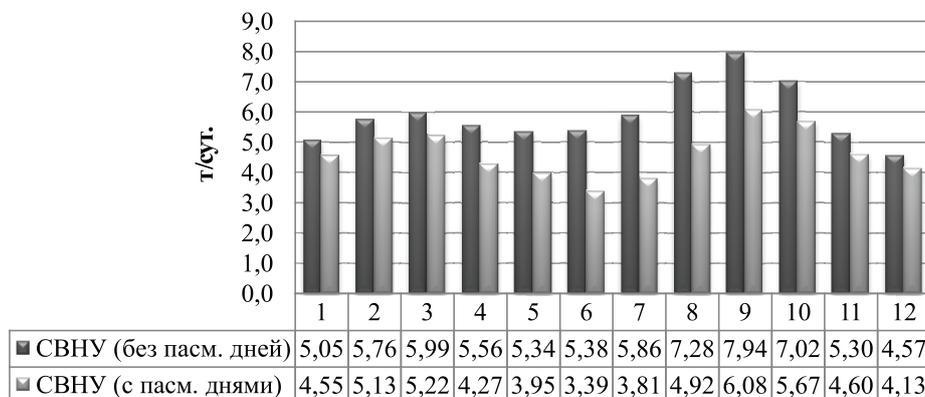


Рис. 3. Средний суточный объем воды, нагреваемой СВНУ по месяцам в течение года до температуры не менее 55°C

Сравнение ТЭП систем теплоснабжения при расходе горячей воды 5 т/сутки

№ п/п	Наименование	СВНУ СВНУ с ТН	Элек- тропо- тел	Тепло- сеть	Котел на угле	Котел на жидком топливе	Котел на газе
1	Стоимость оборудования, тыс. руб.	$\frac{740}{524}$	45	100	290	110	175
2	КПД оборудования	0,9	0,9	–	0,83	0,91	0,85
3	Годовой расход энергии, ГДж/кВт·ч	$\frac{1489}{9795}$	82717	–	324	293	315
4	Калорийность топлива ГДж/т; ГДж/м ³ ·10 ³	–	–	–	10,8	32,82	24,6
5	Расход топлива т/год, тыс. м ³ /год	–	–	–	30	9	12,8
6	Заграты на теплоту, электро- энергию, топливо, руб./год	$\frac{3767}{24782}$	209273	274024	139672	348466	66282
7	Ежегодное среднее удорожание используемого ресурса	10%	10%	5%	9%	3%	17%
8	Эксплуатационные затраты, руб./год	$\frac{11380}{10480}$	818	2000	5280	2200	2500
9	Отчисления на окупаемость, руб./год	$\frac{147940}{104800}$	8996	20000	58080	22000	38491
10	Итого затраты, руб./год	$\frac{163087}{140067}$	210091	296024	198532	335466	102474
11	Стоимость 1 м ³ горячей воды, руб./м ³	$\frac{89}{76}$	120/87*	173	109	196	77

Пр и м е ч а н и е . *при работе электродкотла на ночном тарифе.

Исходя из базовой стоимости затрат на 1 м³ горячей воды, можно определить потенциально сэконоmlенную сумму Э за год:

$$\mathcal{E} = (C_{\text{д}} - C_{\text{а}}) G_{\text{ГВ}},$$

где $C_{\text{д}}$, $C_{\text{а}}$ – стоимость 1 м³ горячей воды за счет традиционного и альтернативного источника соответственно; $G_{\text{ГВ}}$ – годовой расход горячей воды.

Учитывая, что минимальный срок эксплуатации каждой из приведенных установок составляет не менее 15 лет, расчет чистой стоимости производится условно на период 15 лет. Следующие показатели в значительной степени влияют на расчет ТЭП и могут варьироваться в зависимости от внешних факторов:

1. Удорожание стоимости тарифа на электроэнергию, подачу горячей воды от теплосети, стоимость угля, газа и жидкого топлива для потребителей.

2. При известной тепловой нагрузке (расходе горячей воды) на объекте производится расчет показателей теплоснабжающей установки. В расчете средняя стоимость основного оборудования $C_{\text{об}}$ приведена исходя из предлагаемых на рынке вариантов. Полная стоимость оборудования при внедрении установки

$$C_{\text{у}} = C_{\text{об}} + C_{\text{до}}.$$

3. Стоимость проектных работ, дополнительных материалов, монтажа оборудования и сопутствующих процессу внедрения затрат принимается по коэффициентам, рекомендуемым для укрупненных сметных расчетов:

$$C_{\text{до}} = \sum_{i=1}^n (K_i \cdot C_{\text{об}}).$$

4. Отчисления на окупаемость включаются в стоимость 1 м³ горячей воды только в течение установленного желаемого периода окупаемости базовых инвестиций.

5. При определении ТЭП каждого из вариантов (таблица) в течение жизненного цикла находится чистая текущая стоимость проекта (ЧТС) с применением коэффициента дисконтирования:

$$K_{\text{д}} = \frac{1}{(1 + E_{\text{д}})^n},$$

где n – количество лет действия проекта; $E_{\text{д}}$ – норма дисконта, $E_{\text{д}} = 12\%$.

$$\text{ЧТС}_i = K_{\text{д}} \cdot (P_i - I_i),$$

где P_i – прибыль i -го года, руб.; I_i – инвестиции в i -м году, руб.

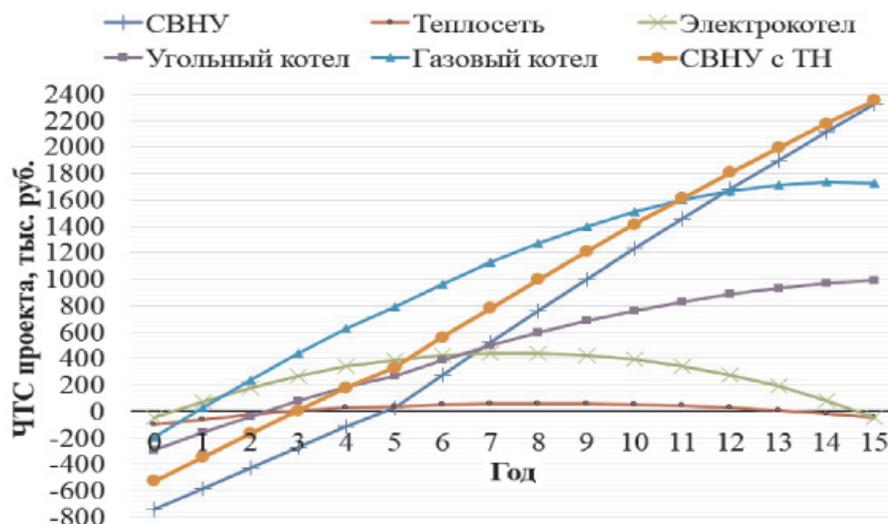


Рис. 4. Изменение ЧТС проектов с различными типами тепловых установок

Тогда величина чистой текущей стоимости проекта равна

$$\text{ЧТС}_n = \sum_{i=1}^n \text{ЧТС}_i.$$

С учетом приведенных показателей выполнена интегральная оценка рассмотренных инвестиционных проектов. Результаты расчетов приведены на рис. 4. Как видно из графиков, проект системы теплоснабжения с использованием СВНУ может окупаться за 5 лет. Через 6–9 лет такая установка будет более выгодной по сравнению с прочими типами источников тепловой энергии с точки зрения экономии денежных средств.

В работе рассмотрен вариант использования СВНУ совместно с тепловым насосом. При замещении тепловым насосом 50% тепловой нагрузки СВНУ эффективность работы системы теплоснабжения значительно возрастает. Соответственно, срок окупаемости сокращается до 3 лет.

Совместно с Центром энергоэффективности и мониторинга энергоресурсов ДВФУ и Лабораторией нетрадиционной энергетики ДВО РАН обследовано более 25 объектов, подготовлены рекомендации по применению комбинированных СВНУ с ТН при модернизации систем теплоснабжения.

Выводы

1. Проведенный анализ показал, что в Приморском крае существует значи-

тельное количество социальных объектов, для которых характерно обеспечение горячей водой от электрических бойлеров или котельных на дорогостоящем жидком топливе.

2. Для сравнительной оценки ТЭП различных вариантов систем теплоснабжения использована специально разработанная программа для расчетов на ПК.

3. Установлено, что в случае применения солнечных водонагревательных установок совместно с тепловыми насосами для горячего водоснабжения исследованных объектов расходы на теплоснабжение снижаются на 30–50%, что позволяет сократить срок окупаемости СВНУ до трех лет.

Список литературы

1. Аслаян Г.С. Финансовые аспекты расширения использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии / Г.С. Аслаян, С.Д. Молодцов // Теплоэнергетика. – 2001. – № 2. – С. 34–39.
2. Безруких П.П., Дегтярев В.В. Елистратов В.В. и др. Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии России и местным видам топлива. – М.: «ИАЦ Энергия», 2007. – 272 с.
3. Безруких П.П. Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России / П.П. Безруких и др. – СПб.: Наука, 2002. – 314 с.
4. Бутузov В.А. Солнечное теплоснабжение в России: состояние дел и региональные особенности // Энергосбережение. – 2009. – № 3. – С. 70–72.
5. Бутузov В.А. Анализ энергетических и экономических показателей гелиоустановок горячего водоснабжения // Промышленная энергетика. – 2001. – № 10. – С. 54–61.
6. Валов М.И. Использование солнечной энергии в системах теплоснабжения: монография / М.И. Валов, Б.И. Казанджан. – М.: Изд-во МЭИ, 1991. – 140 с.

7. Ковалев О.П., Волков, В.В. Лощенков, Казанцев П.А. Солнечная энергия – решение экологических и социальных проблем / Архитектура и строительство Дальнего Востока. – 2007. – № 7–8 (53). – С. 25–27.
8. Методические указания по оценке экономической эффективности и расчёту экономии органического топлива при использовании нетрадиционных возобновляемых источников энергии. АН СССР. – М., 1987. – 56 с.
9. Попель О.С. Обобщение показатели типичной индивидуальной солнечной водонагревательной установки в климатических условиях различных регионов России / О.С. Попель, Е. Фрид, Э.Э. Шпильрайн // Теплоэнергетика. – 2003. – № 1. – С. 12–18.
10. Слесаренко И.В. Выбор установок возобновляемой энергетики для локальных систем энергоснабжения / В.В. Слесаренко, А.Н. Гульков, И.В. Слесаренко // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск № 3. Нефть и газ. – 2013. – С. 190–196.
11. Слесаренко В.В., Копылов В.В., Княжев В.В. Оценка эффективности установок солнечной энергетики в системах теплоснабжения // Вестник ДВО РАН. – 2010. – № 3. – С. 119–124.
12. Харченко Н.В. Индивидуальные солнечные установки. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 208 с.
2. Bezrukich P.P., Degtyarev V.V., Elistratov V.V. and Petrov E.S., IATS Energiya, 2007, pp. 272.
3. Bezrukich P.P. and Arbuzov J.D., Borisov G.A., Vissarionov V.I., Evdokimov V.M., Malinin N.K., Ogorodov N.V., Puzakov V.N., Sidorenko G.I., Shpack A.A. Resursy i effektivnost ispolzovaniya vozobnovlyaemykh istochnikov energii v Rossii, 2002, pp. 314.
4. Butuzov V.A. Energoberejneniye, 2009, no. 3, pp. 70–72.
5. Butuzov V.A. Promyshlennaya energetika, 2001, no. 10, pp. 54–61.
6. Valov M.I., Kazanzhan B.I. Ispolzovaniye solnechnoi energiisistemach taplosnabzhenija. Moskva, 1991. 140 p.
7. Kovalev O.P., Volkov V.V., Loshchenkov V.V., Kazantsev P.A., Arkhitektura i stroitelstvo Dalnego Vostoka, 2007, no. 7–8 (53), pp. 25–27.
8. Metodicheskie ukazaniya po otsenke ekonomicheskoi effektivnosti i raschetu ekonomii organicheskogo topliva pri ispolzovanii netraditsionnykh vozobnovlyaemykh istochnikov energii, 1987. 56 p.
9. Popel O.S., Frid E.E. Shpilrain O.S. Teploenergetika, 2003, no. 1, pp. 12–18.
10. Slesarenko V.V., Gulkov A.N., Slesarenko I.V. Gornyi informatsionno-analoticheskyi byulleten. Otdelnyi vypusk 3. Neft i gaz, 2013, pp. 190–196.
11. Slesarenko V.V., Kopylov V.V., Knyazhev V.V., Dalnevostochnyi vechnik Rossiiskoi Akademii Nayk. 2010, no. 3, pp. 119–124.
12. Kharchenko N.V. Energoatomizdat, 1991. 208 p.

References

1. Aslanyan G.S., Molodtsov S.D., Teploenergetika, 2001, no. 2, pp. 34–39.