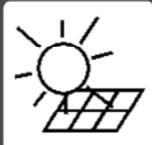


**ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ  
ЭНЕРГЕТИКА**



**RENEWABLE  
ENERGY**



**СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА**

**SOLAR ENERGY**

**НАЗЕМНЫЕ СОЛНЕЧНЫЕ СТАНЦИИ  
СОЛНЕЧНЫЕ КОЛЛЕКТОРЫ**

**GROUND SOLAR STATIONS  
SOLAR COLLECTORS**

Статья поступила в редакцию 25.03.15. Ред. рег. № 2202

The article has entered in publishing office 25.03.15. Ed. reg. No. 2202

УДК 621.1.016

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ОТ ГИБРИДНОГО СОЛНЕЧНОГО КОЛЛЕКТОРА**

***Н.И. Стоянов, А.И. Воронин, А.Г. Стоянов, А.В. Шагров***

ФГАОУ ВПО Северо-Кавказский федеральный университет  
Россия 355029, г. Ставрополь, просп. Кулакова, 2  
тел.: (8652) 95-68-08, 95-68-24; факс: (8652) 95-68-08; e-mail: info@ncfu.ru

doi: 10.15518/isjaee.2015.05.001

Заключение совета рецензентов: 30.03.15 Заключение совета экспертов: 03.04.15 Принято к публикации: 09.04.15

Современное развитие общества и вместе с тем повышение требований к энергоснабжению приводят к тому, что задачи по экономии энергетических ресурсов становятся первостепенным государственным приоритетом. Соответственно, необходимо повышать экономичность и экологичность современных городов и различного рода промышленных центров. Для этого можно обратиться к использованию возобновляемых источников энергии, которые обладают требуемым потенциалом, в частности к солнечной энергетике. В связи с этим перед исследователями различных видов солнечных установок возникает практическая задача, заключающаяся в максимальном повышении эффективности преобразования солнечной энергии в требуемый вид.

Разработана принципиальная схема комплексного энергоснабжения обособленных объектов от гибридного солнечного коллектора. Отличительной особенностью схемы является применение тепловых насосов, повышающих эффективность круглогодичного использования гибридного солнечного коллектора.

Ключевые слова: принципиальная схема, тепловые насосы, эффективность использования.

## **POWER SUPPLY EFFICIENCY INCREASE FROM COMBINE SOLAR COLLECTOR**

***N.I. Stoyanov, A.I. Voronin, A.G. Stoyanov, A.V. Shagrov***

North-Caucasus Federal University  
2 Kulakov Ave., Stavropol, 355029 Russian Federation  
ph.: (8652) 95-68-08, 95-68-24, fax: (8652) 95-68-08, email: info@ncfu.ru

Referred 30 March 2015 Received in revised form 3 April 2015 Accepted 9 April 2015



The high standards for the power supply leads to the fact that the task of saving energy resources becomes the state priority. In order to increase the efficiency and sustainability of modern cities and various industrial centers, people use of renewable energy sources, which have the required capabilities, in particular solar power engineering. The researches of various types of solar units have to solve the task of maximum solar energy conversion efficiency in the necessary form.

The authors of this paper develop the scheme of complex energy delivery to isolated objects from a solar collector. The peculiarity is the use of heating pumps which increase year-round efficiency of combine solar collector usage.

Keywords: scheme, heating pumps, efficiency.



Стоянов Николай Иванович  
Nikolai I. Stoyanov

**Сведения об авторе:** д-р техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Теплогасоснабжение и экспертиза недвижимости» Института строительства, транспорта и машиностроения ФГА-ОУ ВПО Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь.

Руководитель научного направления «Теплотехника и использование нетрадиционных источников энергии». Осуществляет научное руководство аспирантами и соискателями по специальностям: 05.14.14 – Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты; 05.23.03 – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение. Руководитель магистерской программы «Теплогасоснабжение населенных мест и предприятий» по направлению подготовки 08.04.01 – Строительство.

**Образование:** кандидатскую диссертацию «Повышение эффективности непрерывного ионирования при обработке природных и сточных вод» по специальности 05.14.14 – Тепловые электрические станции и тепловые сети (тепловая часть) защитил в диссертационном совете Азербайджанского института нефти и химии им. М. Азизбекова в 1988 г. Докторскую диссертацию «Технологическое совершенствование процессов обработки пресных и минерализованных природных вод в теплоэнергетике» по специальности 05.14.01 – Энергетические системы и комплексы защитил в диссертационном совете при ГОУ ВПО Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт) в 2006 г.

**Область научных интересов:** теплотехника, теплоэнергетика, альтернативные источники энергии.

**Публикации:** более 100.

**Information about the author:** DSc (Engineering), Associate Professor, Head of Heat and Gas Supply and Property Survey Department in Institute of Building, Transport and Machine Parts, FSAEI “North-Caucasus federal university”, Stavropol city.

He supervises “Heat engineering and nonconventional power sources”, specialties: 05.14.14 – Heat electrical stations, power systems and devices; 05.23.03 – Heat supply, gas vent, air conditioning, gas supply and lighting. He is a supervisor of a Master programme “Heat and gas supply of populated areas and industries” 08.04.01 – Building.

**Education:** PhD; thesis “Increase of continuous ionization efficiency under natural and waste water treatment”, specialty – 05.14.14 “Heat electrical stations and heat networks” was defended at Dissertation Council of Azerbajdzhan Institute of Oil and Chemistry by M. Azizbekov in 1988. D.Sc. thesis “Technological modernization of fresh and mineral natural water treatment in heat-power engineering”, specialty – 05.14.01 “Utility units and power complexes” was defended at Dissertation Council of South-Russian State Technical University (Novocherkassk Technical Institute) in 2006.

**Research area:** heat engineering, heat power engineering, alternative energy sources.

**Publications:** over 100.

## Введение

Развитие и совершенствование систем энергоснабжения является одним из важнейших государственных приоритетов и направлений повышения экономичности и экологичности жизнеобеспечения современных промышленных городов и промышленных центров, а также агропромышленных комплексов. Возможности использования экологически чистой возобновляемой энергии солнечного излучения привлекают все большее внима-

ние. В соответствии с прогнозами уже в течение ближайших 15–20 лет возобновляемые источники энергии должны занять заметное место в мировом энергетическом балансе.

Практическая задача, стоящая перед разработчиками и создателями различного вида солнечных установок, состоит в том, чтобы наиболее эффективно преобразовать солнечную энергию в нужный вид энергии (теплоту, электроэнергию) при наименьших затратах на установку [1, 2].

В ряде стран Европы перспективным направлением представляется использование тепловых насосов для повышения эффективности использования возобновляемых источников энергии [3, 4].

Однако в летнее время использование солнечной энергии осуществляется только в целях горячего водоснабжения, и потенциал солнечного коллектора используется не в полной мере, а в зимнее время по-

тенциала солнечных коллекторов недостаточно для систем отопления. Типичные годовой и суточный графики поступления солнечной энергии и изменения нагрузки теплоснабжения здания по данным [5] приведены на рисунке 1, где  $E_1$  – используемая солнечная энергия;  $E_2$  – избыток солнечной энергии;  $E_3$  – дефицит солнечной энергии.

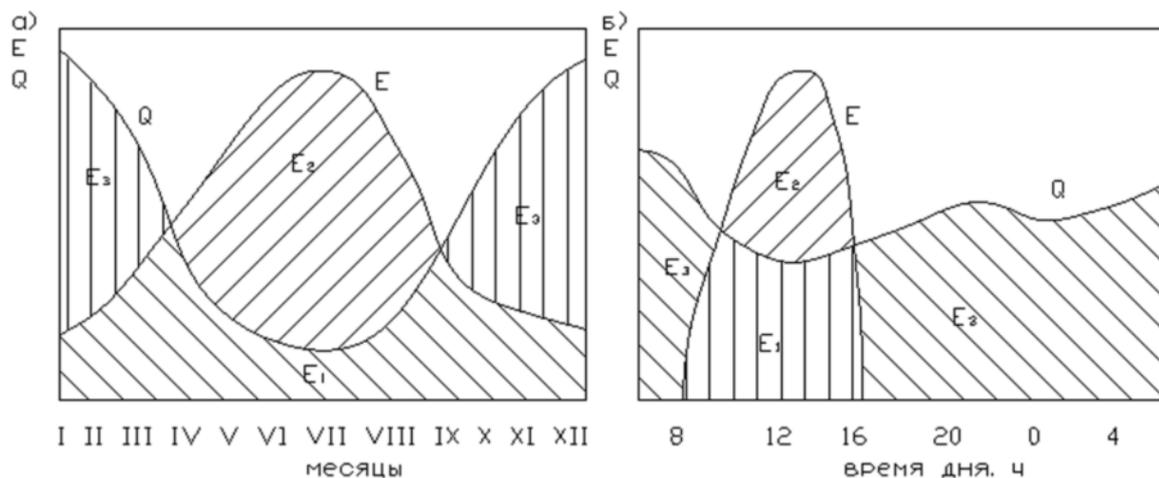


Рис. 1. Типичные годовой (а) и суточный (б) графики изменения количества поступающей солнечной энергии  $E$  и тепловой нагрузки теплоснабжения здания  $Q$

Fig. 1. Typical annual (a) and daily (b) diagrams of direct radiation  $E$  and heat load of building power supply  $Q$

При совместном использовании абсорбционных теплонасосных установок и солнечных коллекторов появляется возможность применять это дополнительное тепло ( $E_2$  – избыток солнечной энергии) для систем кондиционирования в летнее время, а с помощью парокомпрессорных тепловых насосов, потребляющих вырабатываемую коллектором электрическую энергию, можно направлять геотермальную энергию для систем отопления в зимнее время, компенсируя  $E_3$  – дефицит солнечной энергии, – и для систем кондиционирования в летнее время.

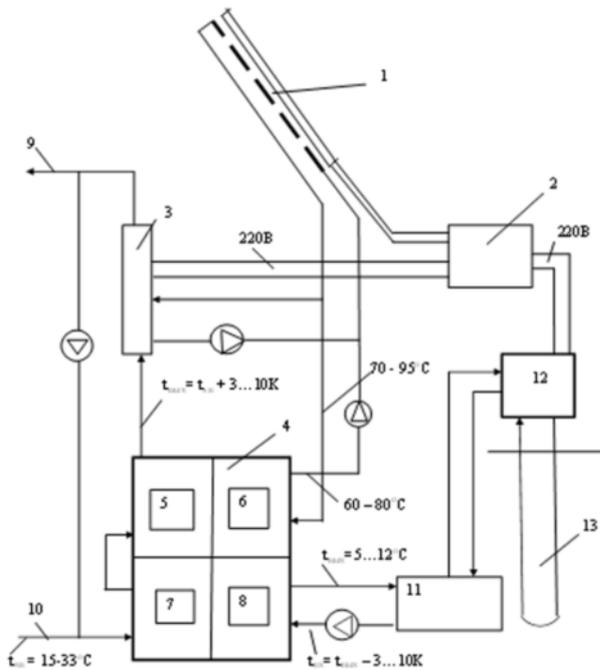
### Постановка задачи

Для комплексного энергоснабжения обособленных объектов предлагаются плоские гибридные солнечные коллекторы с балансом мощности (электроэнергия/тепло) 1:3. Эти солнечные коллекторы предназначены для одновременного производства электричества и горячей воды. Эффективность традиционного фотоэлектрического модуля снижается с ростом температуры. В гибридных коллекторах тепло поглощается для нагрева горячей воды, и температура коллектора понижается. За счет постоянного ох-

лаждения выработка электрической энергии дополнительно увеличивается до 50 %.

Разработана принципиальная схема комплексного энергоснабжения обособленных объектов от солнечного коллектора (выработка электрической энергии, горячее водоснабжение и кондиционирование воздуха в летний период; горячее водоснабжение и отопление в зимний период) (рис. 2).

Отличительной особенностью схемы является применение абсорбционного теплового насоса (АБТН) и парокомпрессорного теплового насоса (ПКТН). С помощью АБТН, использующего тепловую энергию коллектора, обеспечивается: потребление получаемой от солнечного коллектора тепловой энергии для кондиционирования помещений в летний период; аккумуляция тепловой энергии при суточной неравномерности поступления и направление тепла по разработанному авторами способу; предварительный подогрев холодной воды для системы горячего водоснабжения [6, 7]. С помощью ПКТН, использующего вырабатываемую фотоэлектрической частью гибридного коллектора электрическую энергию, обеспечивается применение геотермальной энергии для систем отопления в зимний период и для систем кондиционирования в летний период.



**Рис. 2.** Принципиальная схема комплексного энергоснабжения обособленных объектов от солнечного коллектора: 1 – солнечный коллектор; 2 – преобразователь электрической энергии; 3 – подогреватель горячей воды; 4 – абсорбционный тепловой насос (5 – конденсатор; 6 – генератор; 7 – абсорбер; 8 – испаритель); 9 – горячая вода; 10 – холодная вода; 11 – объект комплексного энергоснабжения (кондиционирование воздуха, отопление); 12 – парокomppressorный тепловой насос; 13 – теплообменник петротермальной скважины

**Fig. 2.** A principal scheme of complex power supply from the solar collector:

- 1 – solar collector; 2 – solar energy converter;
- 3 – hot water heater;
- 4 – absorption heat pump (5 – condenser; 6 – generator unit; 7 – absorber; 8 – evaporator); 9 – hot water; 10 – cold water;
- 11 – complex energy supply entity (air conditioning, heating); 12 – steam compressor heat pump; 13 – heat-exchange facility of a petro-thermal well

В случае избыточно вырабатываемой электрической энергии и недостатка тепла, электрическая энергия направляется на нагрев воды в подогреватель горячей воды 3 – бивалентная система с дополнительным электрическим нагревателем, – что позволяет осуществлять гибкий режим регулирования.

### Обсуждение результатов

Анализируя рисунок 1 и данные расчета, приведенного в [6], приходим к выводу, что тепловой мощности коллектора недостаточно для системы отопления, и в зимний период работа установки без парокomppressorного теплового насоса становится неэффективной. Для эффективного использования парокomppressorного теплового насоса в летний период предлагается применять его для системы кондиционирования воздуха дополнительно к абсорбционному тепловому насосу. Как известно, тепловые насосы используют возобновляемые источники энер-

гии: низкопотенциальное тепло воздуха, грунта, подземных, открытых незамерзающих водоемов, сточных и сбросовых вод и воздуха, а также сбрасываемое тепло технологических предприятий. Коэффициент преобразования теплоты в парокomppressorном тепловом насосе, который представляет собой отношение теплопроизводительности к затратам электроэнергии, принимает значения 4÷7 в зависимости от температуры низкопотенциального источника.

В качестве низкопотенциального источника выбраны грунты с учетом того, что теплонасосная установка будет использоваться не только в зимнее время для отопления, но и в летнее для кондиционирования воздуха.

Тепловой режим грунта поверхностных слоев земли формируется под действием двух основных факторов: падающей на поверхность солнечной радиации и потоком радиогенного тепла из земных недр. Сезонные и суточные изменения интенсивности солнечной радиации и температуры наружного воздуха вызывают колебания температуры верхних слоев грунта. Глубина проникновения суточных колебаний температуры наружного воздуха и интенсивности падающей солнечной радиации в зависимости от конкретных почвенно-климатических условий колеблется в пределах от нескольких десятков сантиметров до полутора метров. Глубина проникновения сезонных колебаний температуры наружного воздуха и интенсивности падающей солнечной радиации не превышает, как правило, 15÷20 м [8].

Возможны два варианта получения низкопотенциального тепла из грунта. Накопленное в грунте тепло извлекается посредством горизонтально проложенных теплообменников (горизонтальная укладка пластиковых труб в траншеи глубиной 1,3–1,7 м в зависимости от климатических условий местности), называемых коллекторами, или посредством вертикально проложенных теплообменников, так называемых геотермальных зондов (вертикальные скважины глубиной 20–100 м). Максимальная теплоотдача поверхностного грунта составляет от 7 до 25 Вт с 1 мп., с геотермального – 20–50 Вт с 1 мп. По данным компаний производителей, срок службы траншей и скважин составляет более 100 лет.

Температуру грунта можно ориентировочно оценить по значению градиента температуры [8]. Глубина скважины на 1 кВт электрической мощности парокomppressorного теплового насоса может быть принята по данным [9]. С 1986 года в Швейцарии, недалеко от Цюриха, проводились исследования системы с вертикальными грунтовыми теплообменниками. В грунтовом массиве был устроен вертикальный грунтовой теплообменник коаксиального типа глубиной 105 м. Этот теплообменник использовался в качестве источника низкопотенциальной тепловой энергии для теплонасосной системы, установленной в многоквартирном жилом доме. Вертикальный грунтовой теплообменник обеспечи-



вал пиковую мощность примерно 70 Вт на каждый метр длины.

Технические характеристики гибридного солнечного коллектора площадью 100 м<sup>2</sup>: максимальная электрическая мощность до 20 кВт; среднесуточная тепловая мощность летняя (май – сентябрь) 28,7 кВт; среднесуточная тепловая мощность зимняя (октябрь – апрель) 5,2 кВт [6].

Применение предлагаемой схемы с пароконпрессорным тепловым насосом мощностью до 20 кВт позволит получить: дополнительную тепловую мощность в зимний период для системы отопления до 140 кВт; дополнительную холодопроизводительность в летний период для системы кондиционирования воздуха до 140 кВт.

### Основные выводы

– тепловая мощность установки для обеспечения теплом системы отопления увеличивается в 4–7 раз (а также и системы кондиционирования в летний период) и увеличивается эффективность круглогодичного использования солнечного коллектора.

– предполагаемая область применения установок: санаторно-курортные комплексы КавМинВод; санаторно-курортные комплексы Краснодарского края; торговые комплексы СКФО; административные здания СКФО.

### Список литературы

1. Андерсон Б. Солнечная энергия: Основы строительного проектирования. М.: Стройиздат, 1982. 375 с.
2. Перминов Э.М. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии: состояние и перспективы освоения // Энергетическое строительство. 1993. № 12. С. 9–15.
3. Плешка М.С., Вырлан П.М., Стратан Ф.И., Булкин С.Г. Теплонасосные гелиосистемы отопления и горячего водоснабжения зданий. Кишинев: Штиинца, 1990. 122 с.
4. Хаванов П.А. Современное состояние коммунальной энергетики // Современные системы теплогазоснабжения и вентиляции: Сб. тр. Моск. гос. строит. ун-т. М.: МГСУ, 2003. С. 19–22.
5. Внутренние санитарно-технические устройства / Под ред. И.Г. Староверова и Ю.И. Шиллера. В 3-х частях. Часть 1: Отопление. М.: Стройиздат. 1990.
6. Стоянов Н.И., Воронин А.И., Стоянов А.Г., Шагров А.В. Оценка потенциала комплексного энергоснабжения обособленных объектов от солнечного коллектора // Международный научный журнал

«Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE). 2014. № 13 (153). С. 12–16.

7. Стоянов Н.И., Воронин А.И., Стоянов А.Г., Шагров А.В. Комплексное энергоснабжение обособленных объектов от солнечной энергии: монография. Ставрополь: СКФУ, 2014. 96 с.

8. Стоянов Н. И., Гейвандов И.А., Гейбатов Р.А., Смирнов С.С., Смирнова А.В. Теоретические основы и технологии извлечения и использования глубинного петротермального тепла для комплексного энергоснабжения удаленных и обособленных потребителей: монография. Ставрополь: СКФУ, 2013. 149 с.

9. VITOCAL 300/350. Теплонасосные установки. Инструкция по проектированию.

### References

1. Anderson B. Solnečnaâ ènergiâ: Osnovy stroitel'nogo proektirovaniâ. Moscow: Strojizdat Publ., 1982. 375 p. (in Russ.).

2. Perminov È.M. Netradicionnye vozobnovlâemye istochniki ènerгии: sostoânie i perspektivy osvoeniâ. *Ènergetičeskoe stroitel'stvo*, 1993, no. 12, pp. 9–15 (in Russ.).

3. Pleshka M.S., Vyrlan P.M., Stratan F.I., Bulkin S.G. Teplonasosnye geliosistemy otopleniâ i gorâčego vodosnabženiâ zdaniy. Kišinev: Štiinca Publ., 1990. 122 p. (in Russ.).

4. Havanov P.A. Sovremennoe sostoânie kommunal'noj ènergetiki. Sovremennye sistemy teplogazosnabženiâ i ventilâcii: *Collected papers of Moscow State University of City Engineering*. Moscow: MGSU Publ., 2003, pp. 19–22 (in Russ.).

5. Vnutrennie sanitarno-tehničeskije ustrojstva. Part 1: Otoplenie. Moscow: Strojizdat Publ., 1990 (in Russ.).

6. Stoyanov N.I., Voronin A.I., Stoyanov A.G., Shagrov A.V. Ocenka potenciala kompleksnogo ènergosnabženiâ obosoblennyh ob"ektov ot solnečnogo kollektora. *International Scientific Journal for "Al'ternativnaâ ènergetika i èkologijâ" (ISJAEE)*, 2014, no. 13 (153), pp. 12–16 (in Russ.).

7. Stoyanov N.I., Voronin A.I., Stoyanov A.G., Shagrov A.V. Kompleksnoe ènergosnabženie obosoblennyh ob"ektov ot solnečnoj ènerгии: monograph. Stavropol': SKFU Publ., 2014. 96 p. (in Russ.).

8. Stoyanov N.I. Geivandov I.A., Geibatov R.A., Smirnov S.S., Smirnova A.V. Teoretičeskije osnovy I tehnologii izvlečeniâ I ispol'zovaniâ glu-binnogo petrotermal'nogo tepla dlâ kompleksnogo ènergosnabženiâ udalennyh obosoblennyh potrebitelej: monograph. Stavropol': SKFU Publ., 2013, 149 p. (in Russ.).

9. VITOCAL 300/350. Teplonasosnye ustanovki. Design instructions (in Russ.).

Транслитерация по ISO 9:1995

