

## NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES OF AGRICULTURAL SCIENCES

ISSN 2224-526X

Volume 5, Number 23 (2014), 85 – 91

**THE STUDY OF THE SOLAR WATER HEATER  
WITH VACUUM TUBE COLLECTOR****S. A. Keshuov<sup>1</sup>, I. T. Aldibekov<sup>2</sup>, M. T. Zhakisheva<sup>3</sup>**<sup>1</sup>Kazakh research Institute of mechanization and electrification of agriculture, Almaty, Kazakhstan,<sup>2</sup>Almaty university of power engineering & telecommunications, Almaty, Kazakhstan,<sup>3</sup>Kazakh national agrarian university, Almaty, Kazakhstan**Key words:** heat supply, energy efficiency, solar water heater, vacuum tube collector.**Abstract.** The article describes the design of a solar water heater with vacuum tube collector, the results of its full-scale tests in the climatic conditions of the city of Almaty, its energy parameters and the expediency of year-round use in the southern regions of the country are define.

УДК 631.3:621.3.036.5

**ИССЛЕДОВАНИЕ СОЛНЕЧНОГО ВОДОНАГРЕВАТЕЛЯ  
С ВАКУМИРОВАННЫМ ТРУБЧАТЫМ КОЛЛЕКТОРОМ****С. А. Кешуов<sup>1</sup>, И. Т. Алдибеков<sup>2</sup>, М. Т. Жакишева<sup>3</sup>**<sup>1</sup>Казахский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства, Алматы, Казахстан,<sup>2</sup>Алматинский университет энергетики и связи, Алматы, Казахстан,<sup>3</sup>Казахский национальный аграрный университет, Алматы, Казахстан**Ключевые слова:** теплообеспечение, энергосбережение, солнечный водонагреватель, вакуумированный трубчатый коллектор.**Аннотация.** В статье описана конструкция солнечного водонагревателя с вакуумированным трубчатый коллектором, приведены результаты его натурных испытаний в климатических условиях г. Алматы, определены энергетические и параметры и обоснована целесообразность круглогодичного использования в южных регионах республики.**Введение.** В настоящее время интенсификация животноводческой отрасли требует решения комплекса сложных задач, к числу которых относится теплообеспечение молочных ферм.

При существующих технологиях и системах машин в молочном скотоводстве на получение центнера молока затрачивается 32–35 кВт·ч электрической энергии и 8–10 кг топлива, что выше в 2,5–3,5 раза, чем в молочных хозяйствах США и других ведущих зарубежных странах. В то же время в известных системах теплообеспечения не уделяется должного внимания вовлечению в энергобаланс молочных ферм энергии Солнца.

Казахстан относится к государствам с благоприятными условиями для развития солнечной энергетики. В южных областях республики годовая длительность солнечного света составляет 2200–3000 часов в год, а средняя за год пиковая мощность доходит до 1200 Вт/м<sup>2</sup>.

Поэтому разработка и ускоренное внедрение энергосберегающей технологии теплообеспечения на базе инновационных технических средств с использованием возобновляемых источников энергии и снижение на ее основе энергоемкости животноводческой продукции является актуальной [1].

В КазНИИМЭСХ разработана гелиоэлектрическая тепловая установка, предназначенная для паро- и горячего водоснабжения и отопления молочных блоков животноводческих ферм и содержащая солнечный водонагреватель.

**Материалы и методы.** На рисунке 1 показана теплотехническая схема солнечного водонагревателя, а на рисунке 2 – общие виды его основных конструктивных элементов.

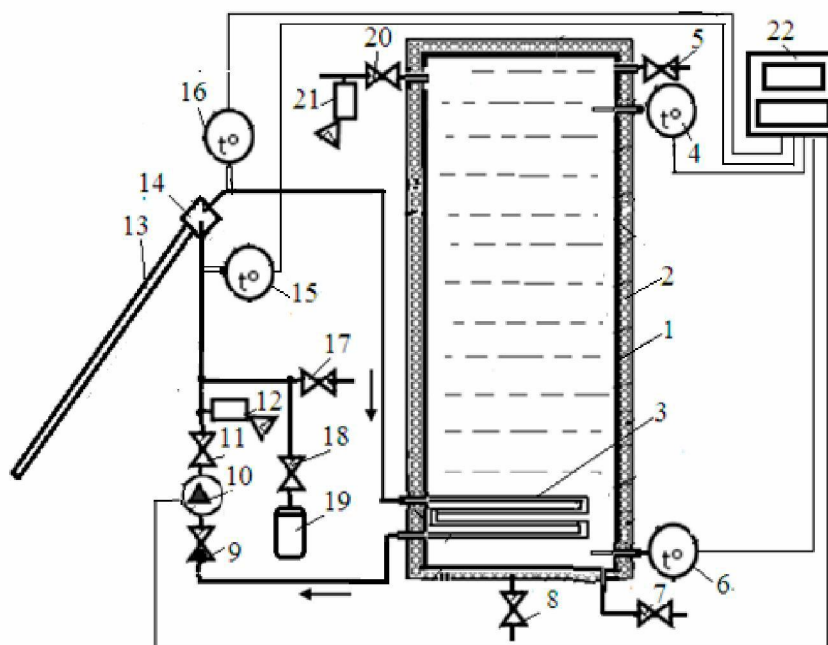


Рисунок 1 – Теплотехническая схема солнечного водонагревателя: 1 – накопительный бак; 2 – теплоизоляция бака; 3 – теплообменник; 4, 6 – датчики для измерения температуры воды в верхней и нижней частях бака, соответственно; 5, 7 – вентили для подключения бака к электрическому котлу; 8, 20 – вентили для подачи холодной воды и отбора горячей воды, соответственно; 9 – обратный клапан; 10 – циркуляционный насос; 11, 17, 18 – вентили солнечного контура; 12, 21 – предохранительные клапана; 13 – гелиоколлектор; 14 – коллекторный бачок; 15, 16 – датчики для измерения температуры теплоносителя на входе и выходе гелиоколлектора соответственно; 19 – расширительный мембранный бачок; 22 – пульт управления с индикацией температур



а

б

Рисунок 2 – Основные конструктивные элементы солнечного водонагревателя:  
а – гелиоколлектор; б – накопительный бак и пульт управления

Солнечный водонагреватель состоит из гелиоколлектора, содержащего 70 вакуумированных колб с тепловой трубкой, теплоизолированный накопительный бак вместимостью 500 л, циркуляционный насос, соединительных труб и защитно-регулирующих арматур, контрольно-измерительных приборов и щит управления с индикацией температур.

Использование вакуумированных трубчатых солнечных коллекторов обусловлено их основными преимуществами: возможность работы при значительных отрицательных температурах наружного воздуха и пасмурной погоде, поглощение солнечной радиации в течение дня, благодаря цилиндрической форме вакуумной трубки, а также низкий коэффициент тепловых потерь вакуумированных колб [2].

Стандартная вакуумированная колба имеет следующие характеристики: длина – 1800 мм, наружные диаметры внешней и внутренней стеклянных труб – 58 мм и 48 мм соответственно; степень поглощения – > 91 %; средний коэффициент тепловых потерь –  $\leq 0,6 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$  [2].

Солнечный водонагреватель работает следующим образом. Солнце нагревает теплоноситель в гелиоколлекторе. Когда температура на термодатчике 16 коллектора превысит температуру в термодатчике 6 накопительного бака 1 на настроенную величину (3–5 градусов), система управления включает циркуляционный насос 10. Нагретый теплоноситель от выхода коллектора по трубам проходит на вход теплообменника 3. Теплоноситель, передав тепло через теплообменник 3 технологической воде в баке 1, из выхода теплообменника 3 циркуляционным насосом 10 на вход коллектора. После того, как температура на двух термодатчиках сравнивается, насос выключается.

Если температура технологической воды в конце светового дня ниже заданной, то бак подключают через вентили 5 и 7 к электрическому котлу (на рисунке не показан).

Поскольку технологическая вода в баке используется преимущественно во время вечерней дойки, то ее нагрев гелиоколлектором осуществляется практически в течение светового дня.

Гелиоколлектор установлен на открытой площадке, с углом наклона к горизонту  $45^\circ$ . Рабочая поверхность направлена на юг. Выбранное место в течение светового дня не затеняется окружающими предметами.

Все трубы, находящиеся вне помещений, для снижения потерь тепла покрыты теплоизоляцией. Термодатчики устанавливаются к присоединительным местам с применением термопасты.

Целью натурных испытаний солнечного водонагревателя является определение его основных теплоэнергетических характеристик в климатических условиях г. Алматы.

Во время опытов измерялись плотность солнечной радиации, начальная температура нагреваемой воды; температура воды в верхней и нижней частях бака, температура теплоносителя на входе гелиоколлектора и на выходе из него; продолжительность нагрева воды, температура воздуха в помещении, температура наружного воздуха, скорость ветра, расход электроэнергии на работу насоса. Измерения и испытания проводились в соответствии с методиками, приведенными в [3–5].

Важным энергетическим параметром солнечного водонагревателя является его к.п.д. Его расчетное значение  $\eta_{с.в}$  определяют как произведение к.п.д. составных элементов установки:

$$\eta_{с.в} = \eta_{гк} \eta_{тр} \eta_{б}, \quad (1)$$

где  $\eta_{гк}$  – к.п.д. гелиоколлектора;  $\eta_{тр}$  – к.п.д. трубопроводов, соединяющих гелиоколлектор с накопительным баком;  $\eta_{б}$  – к.п.д. накопительного бака.

Значения  $\eta_{тр}$  и  $\eta_{б}$  обычно находятся в пределах 0,9–0,95.

К.п.д.  $\eta_{гк}$  гелиоколлектора изменяет свое значение в течение дня и в течение года, в зависимости от температуры коллектора и температуры окружающей среды, а также от величины падающего излучения. Расчетное значение  $\eta_{гк}$  определяют по формуле, приведенной в [5].

Определение к.п.д. солнечного водонагревателя путем натурных испытаний в реальных условиях дает более объективную картину теплообменных процессов, происходящих в установке. При этом к.п.д. установки определяется по формуле:

$$\eta_{с.в} = \frac{Q_{пол}}{Q_{сол} + W_ч}, \quad (2)$$

где  $Q_{пол}$  – полезная энергия, затраченная на нагрев воды, кВт·ч;  $Q_{сол}$  – солнечная энергия, поступающая на поверхность гелиоколлектора, кВт·ч;  $W_ч$  – электроэнергия, затраченная на работу насоса, кВт·ч.



Причем

$$Q_{пол} = c_v m_v (t_{в,кон} - t_{в,нач}) / 3600, \quad (3)$$

$$Q_{сол} = E_c S_{ап} \tau, \quad (4)$$

где  $c_v$  – удельная теплоемкость воды, 4,19 кДж/кг;  $m_v$  – масса воды в баке,  $m = 500$  кг;  $t_{в,кон}$  – конечная температура воды в баке, °С;  $t_{в,нач}$  – начальная температура воды в баке, °С;  $E_c$  – средняя за время испытаний интенсивность солнечной радиации, поступающая на наклонную поверхность гелиоколлектора, Вт/м<sup>2</sup>;  $\tau$  – продолжительность нагрева, ч;  $S_{ап}$  – площадь апертуры гелиоколлектора, которая определяется по выражению:

$$S_{ап} = L_{эф} d_{вн} n_k = 1,73 \cdot 0,047 \cdot 70 = 5,7 \text{ м}^2, \quad (5)$$

$L_{эф}$  – эффективная длина колбы, т.е. длина ее незакрытой части;  $d_{вн}$  – наружный диаметр внутренней стеклянной трубки;  $n_k$  – количество колб.

Средняя за время испытаний тепловая мощность, затрачиваемая на нагрев воды:

$$P_{ср} = Q_{пол} / \tau. \quad (6)$$

Удельная теплопроизводительность (кДж/м<sup>2</sup>) установки на 1 м<sup>2</sup> площади апертуры гелиоколлектора определяется по формуле:

$$Q_{уд} = Q_{пол} / S_{ап}. \quad (7)$$

### Результаты и их обсуждение

На рисунках 3–5 показана динамика изменения температур теплоносителя в гелиоколлекторе, технологической воды в баке и наружного воздуха в течение светового дня и суток в характерные холодные и теплые месяцы года. Результаты расчетов по определению теплоэнергетических параметров солнечного водонагревателя приведены в таблице.

На рисунке 3 показана динамика суточного изменения температур теплоносителя на выходе из коллектора, воды в баке и наружного воздуха, полученная в ходе натурных испытаний солнечного водонагревателя в холодные дни февраля.

Анализ экспериментальных данных и результатов расчетов показывает, что в течение первого дня, когда температура наружного воздуха ( $T_{н.в}$ ) изменилась в пределах -13 °С – -7°С при ясной погоде, гелиоколлектор нагревает воду в баке от 24 °С до 44°С, а затем в ночное время происходит

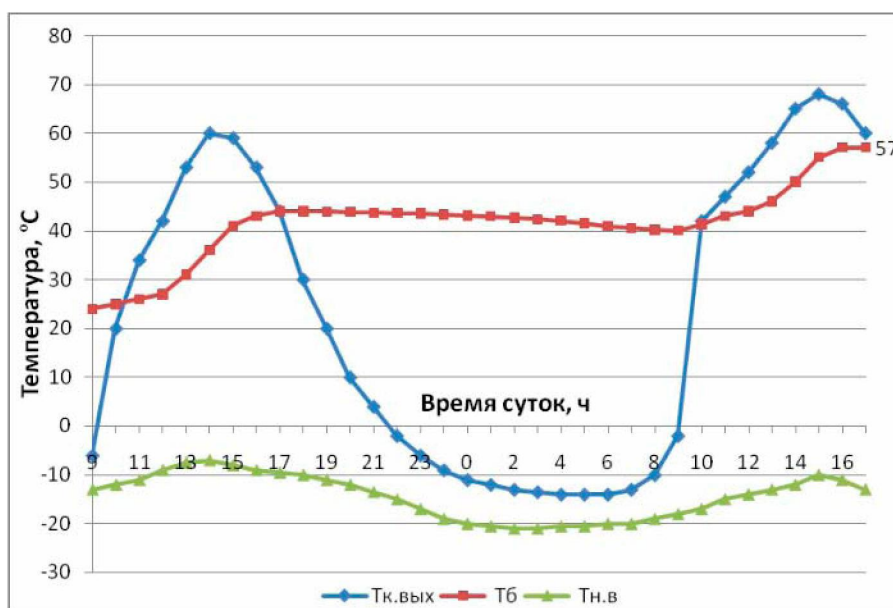
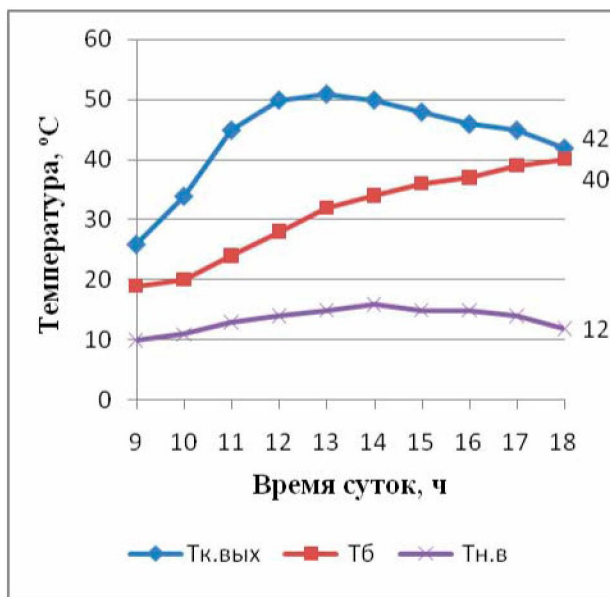
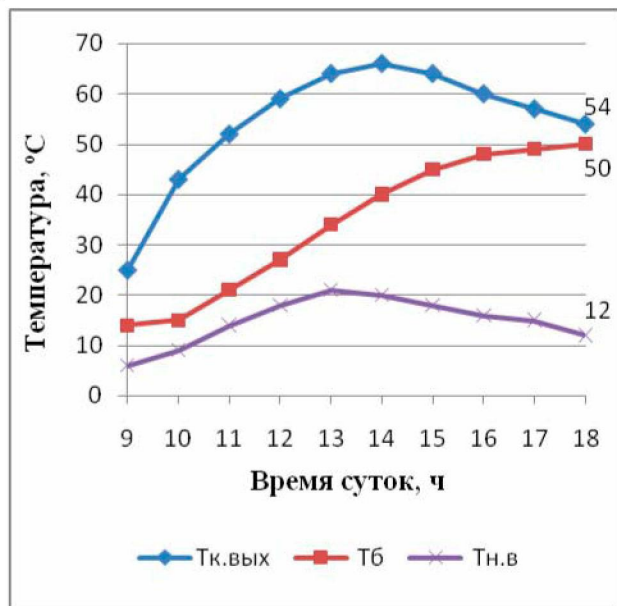


Рисунок 3 – Динамика суточного изменения температур теплоносителя на выходе из коллектора, воды в баке и наружного воздуха (дата проведения-05.02.2014–06.02.2014):

$T_{к.вых}$  – температура теплоносителя на выходе из гелиоколлектора;

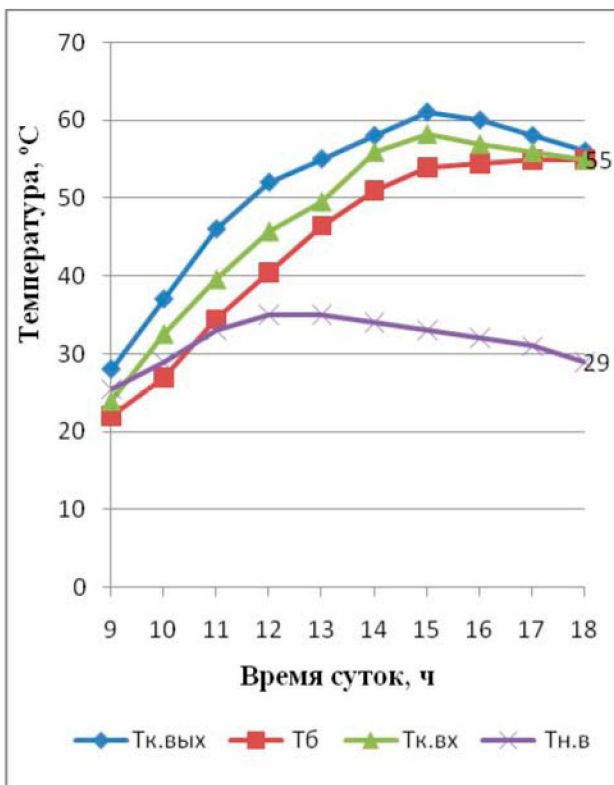
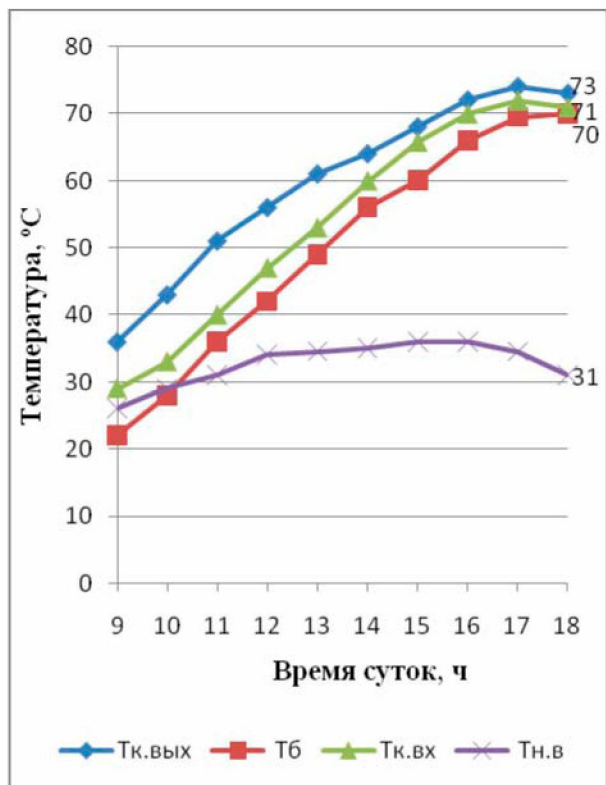
$T_b$  – средняя температура воды в баке;  $T_{н.в}$  – температура наружного воздуха



а

б

Рисунок 4 – Динамика суточного изменения температур теплоносителя на выходе из коллектора, воды в баке и наружного воздуха: а – результаты испытаний, проведенных 13.03.2014; б – результаты испытаний, проведенных 18.03.2014.  
 $T_{к.вых}$  – температура теплоносителя на выходе из гелиоколлектора;  $T_б$  – средняя температура воды в баке;  $T_{н.в}$  – температура наружного воздуха



а

б

Рисунок 5 – Динамика суточного изменения температур теплоносителя на входе и выходе коллектора, воды в баке и наружного воздуха и 35% требуемого значения ( $60-14 = 46^{\circ}\text{C}$ ), а при этом к.п.д. составляет 0,56 и 0,5 соответственно.  
 а – результаты испытаний, проведенных 03.07.2014; б – результаты испытаний, проведенных 08.07.2014  
 $T_{к.вых}$  – температура теплоносителя на выходе из гелиоколлектора;  $T_б$  – средняя температура воды в баке;  $T_{к.вх}$  – температура теплоносителя на входе гелиоколлектора;  $T_{н.в}$  – температура наружного воздуха

Таблица 1 – Результаты расчетов по определению теплоэнергетических параметров солнечного водонагревателя

Параметры	Дата и время проведения					
	05.02.14 9 <sup>00</sup> -24 <sup>00</sup>	06.02.14 0 <sup>00</sup> -17 <sup>00</sup>	13.03.14 9 <sup>00</sup> -18 <sup>00</sup>	18.03.14 9 <sup>00</sup> -18 <sup>00</sup>	03.07.14 9 <sup>00</sup> -18 <sup>00</sup>	08.07.14 9 <sup>00</sup> -18 <sup>00</sup>
Погода	Ясно	Ясно	Ясно	Облачно	Ясно	Перемен. облачность
Средняя за время испытаний интенсивность солнечной радиации, поступающая поверхность коллектора, Вт/м <sup>2</sup>	449,6	427,6	619,9	359,8	761,4	518,4
Температура наружного воздуха в дневное время, С	-13 – -7	-20 – -10	8 – 21	10 – 16	27 – 36	25 – 33
Начальная температура воды в баке, °С	24	40	14	19	22	22
Средняя температура воды в баке в конце нагрева, °С	44	57	50	40	70	55
Степень нагрева воды, °С	20	17	36	21	48	33
Расход электроэнергии на работу насоса, кВт·ч	0,27	0,27	0,45	0,61	0,81	0,43
Полезная энергия, затрачиваемая на нагрев воды, кВт·ч	11,63	9,9	20,93	12,21	27,91	19,19
Солнечная энергия, поступающая на гелиоколлектор, кВт·ч	20,5	19,5	31,8	18,46	39,1	26,6
К.п.д. установки	0,56	0,50	0,65	0,64	0,7	0,71
Средняя тепловая мощность, затрачиваемая на нагрев воды, кВт	1,45	1,24	2,32	1,35	3,1	2,13
Удельная теплопроизводительность установки на 1 м <sup>2</sup> площади апертуры, кДж/м <sup>2</sup>	7344	6264	13212	7704	17640	12132

понижение температуры воды до 41 °С при понижении  $T_{н.в}$  в в ночью до – 21 °С. В следующий световой день она нагревается до температуры до 57°С при колебании  $T_{н.в}$  в в пределах -20°С – -10 °С. В первый день степень нагрева составила 44-24 = 20 °С, а во второй день – 57-41 = 16 °С, что составляют соответственно 44%.

В результате повышения температуры наружного воздуха и интенсивности солнечной радиации в марте степень нагрева воды в баке при  $T_{н.в}$  = 8–21°С составила 50–14 = 36 °С и 40–19 = 21 °С при ясной погоде и переменной облачности соответственно (рисунок 4а и 4б). Указанные степени нагрева соответствуют 78 и 46% требуемого значения (46 °С). При этом к.п.д. установки повышается до 0,65.

На рисунке 5а и 5б представлены результаты испытаний, проведенных в начале июля. Анализ данных показывает, что вакуумированный гелиоколлекторс тепловыми трубками способен нагреть воду объемом 500 л от 22 до 70 °С при ясной погоде и колебании  $T_{н.в}$  в пределах 26–31 °С, апри переменной облачности – до 55 °С. Степень нагрева воды составляет соответственно 48 и 33°С, что соответствует 120 и 82,5 % требуемого значения (60–20 = 40 °С). Благодаря значительному снижению тепловых потерь, к.п.д. установки в июле возрастает до 0,7.

Как показывают расчеты, количество полезной солнечной энергии, затрачиваемой на нагрев технологической воды, в начале февраля составляет 11,63 кВт·ч в день, в середине марта – 20,93 кВт·ч в день, а в начале июля – уже 27,91 кВт·ч в день.

**Выводы.** Результаты натурных испытаний солнечного водонагревателя, состоящего из вакуумированного трубчатого гелиоколлектора с тепловой трубкой и площадью апертуры 5,7 м<sup>2</sup> и накопительного бака вместимостью 500 л, показали, что в климатических условиях г. Алматы при отрицательной температуре наружного воздуха -10 – -15 °С к.п.д. установки может составить не менее 0,5, а степень нагрева технологической воды может достигать 20 °С, т.е около 40 % от заданной. В весенний и летний периоды к.п.д. может составить от 0,6 до 0,7, а вода в баке нагревается от начальной температуры 14–22 до 50–70 °С. При этом вклад солнечной энергии в приготовлении горячей воды составляет зимой не менее 40%, а летом – не менее 80%.

Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности круглогодичного использования вакуумированных трубчатых гелиоколлекторов для горячего водоснабжения в южных регионах республики,

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Кешуов С.А., Алдибеков И.Т., Барков В.И. Ресурсосберегающие системы и установки для электротеплообеспечения в малом молочном животноводстве. – Алматы: ТОО «Нур-Диас», 2012. – 320 с.
- [2] [http://www.journal.esco.co.ua/cities/2013\\_8/art254.pdf](http://www.journal.esco.co.ua/cities/2013_8/art254.pdf)
- [3] Тепло и массообмен. Теплотехнический эксперимент / Под ред. В. Д. Вилenskого. – М.: Энергоиздат, 1982. – 504 с.
- [4] ГОСТ Р 51596-2000. Нетрадиционная энергетика. Солнечная энергетика. Коллекторы солнечные. Методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2001. – 30 с.
- [5] ГОСТ Р 54856-2011. Теплоснабжение зданий. Методика расчета энергопотребления и эффективности системы теплогенерации с солнечными установками. – М.: Стандартинформ, 2012. – 38 с.

#### REFERENCES

- [1] Keshuov S.A., Aldibekov I.T., Barkov V.I. Resursosberegajushhie sistemy i ustanovki dlja jelektroteploobespechenija v malom molochnom zhivotnovodvste. Almaty: TOO «Nur-Dias», 2012. 320 s.
- [2] [http://www.journal.esco.co.ua/cities/2013\\_8/art254.pdf](http://www.journal.esco.co.ua/cities/2013_8/art254.pdf)
- [3] Тепло i massoobmen. Teplotehnicheskij jeksperiment. Pod. red. V. D. Vilenskogo. M.: Jenergoizdat, 1982. 504 s.
- [4] GOST R 51596-2000. Netradicionnaja jenergetika. Solnechnaja jenergetika. Kollektory solnechnye. Metody ispytaniy. M.: Standartinform, 2001. 30 s.
- [5] GOST R 54856-2011. Teplosnabzhenie zdaniy. Metodika rascheta jenergotreblenija i jeffektivnosti sistemy teplogeneracii s solnechnymi ustanovkami. M.: Standartinform, 2012. 38 s.

#### ВАКУУМДЕЛГЕН ТҮТІКШЕ КОЛЛЕКТОРЛІ КҮНДІК СУҚЫЗДЫРҒЫШТЫ ЗЕРТТЕУ

С. А. Кешуов<sup>1</sup>, И. Т. Алдибеков<sup>2</sup>, М. Т. Жакишева<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Механизация және электрификация ауыл шаруашылық қазақ ғылыми-зерттеу институты,  
Алматы, Қазақстан,

<sup>2</sup>Алматы Энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан,

<sup>3</sup>Қазақ ұлттық аграрлық университеті, Алматы, Қазақстан

**Тірек сөздер:** жылумамен қамтамасыз ету, энергия үнемдеу, күндік суқыздырғыш, вакуумделген түтікше коллектор.

**Аннотация.** Мақалада вакуумделген түтікше коллекторлі күндік суқыздырғышты конструкциясы сипатталып, оны Алматы қаласының климаты жағдайында сынау нәтижелері келтірілген, оның энергетикалық параметрлері анықталып, республиканың оңтүстік өңірлерінде жыл бойы қолданудың тиімділігі негізделген.

*Поступила 15.09.2014*