

## Гелиоэлектрическая система теплообеспечения для молочных ферм

С. Кешуов, И. Алдибеков, А. Хасанов

**Solar electric system of heat supply for dairy farms:** The constructive and technological scheme of the solar electric system of heat supply supporting the heliocollector with an accumulative tank, an electrode steam water heater and radiators of heating, and intended for receiving steam and hot water for technological needs of the dairy block of farms, and also heating of rooms is developed. The new design of a steam water heater which provides expansion of functionality of installation and improvement of its operational characteristics is offered. Use of the offered solar electric system allows to lower capital expenditure and operational costs for heat supply of dairy farms to 30% and to provide economy 5500 ... 7000 kW-h the electric power in a year.

**Key words:** dairy farm, heat supply, heliocollector, accumulative tank, steam water heater, heat exchanger, electrode system

### Введение

В молочных блоках животноводческих ферм приготовление горячей воды, получение пара и отопление помещений в настоящее время осуществляются, как правило, децентрализованными системами, предусматривающим использование нескольких автономно работающих электротепловых установок разных типов (водонагреватель емкостного типа, парогенератор, проточный водонагреватель). Коэффициенты загрузки и коэффициенты использования этих установок в условиях молочных блоков сравнительно низки (0,2...0,5), что снижает эффективность использования капитальных затрат на теплоснабжение, особенно при небольшом объеме производимого молока [1].

Поэтому повышение эффективности систем теплообеспечения многочисленных молочных фермерских хозяйств и малых ферм рассматривается как одной из важнейших задач развития энергетики сельского хозяйства.

### Изложение

В предлагаемой нами гелиоэлектрической системе теплообеспечения молочных блоков ферм предусмотрены комбинированное использование электрической и солнечной энергии, централизация выработки теплоты и выполнение установкой нескольких тепловых процессов, а также микропроцессорная система управления режимами работы.

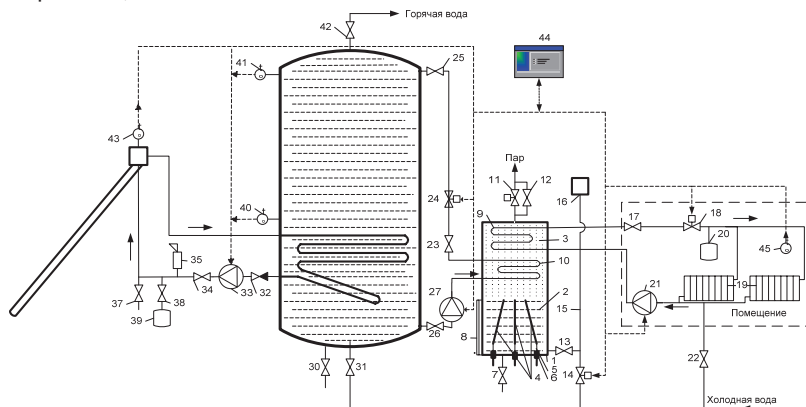
В ее состав входят электродный пароводонагреватель с двумя встроенными теплообменниками, теплоизолированный накопительный бак для горячей воды, гелиоколлектор, радиаторы системы отопления, циркуляционные насосы, щит управления и запорно-регулирующая арматура. На фиг.1 показана ее теплотехническая схема.

Пароводонагреватель содержит цилиндрический корпус 1 с водогрейным и паровым пространствами 2 и 3. В водогрейном пространстве установлены электроды 4 с токовводами 5, закрепленными на днище корпуса с помощью проходных изоляторов 6. В паровом пространстве 3 установлены два спиралевидных пароводяных теплообменника 9 и 10 [2]. Предусмотрены датчики 8 контроля нижнего и верхнего уровней котловой воды и вытеснительный бачок 16 с трубой 15, соединенной через вентиль 13 с нижней частью корпуса 1. Электромагнитные клапаны 7, 11 и 14 предназначены соответственно для продувки засоленной котловой воды, отбора пара и подвода питательной воды.

Трехфазная электродная система состоит из шести углообразных пластинчатых электродов, изогнутых под углом 60° и соединенных по схеме «звезда». Она выполнена с переменным межэлектродным расстоянием, благодаря чему обеспечивается ее нормальная работа в широком диапазоне изменения

удельного сопротивления котловой воды без солевой продувки [3]. Причем, расстояние между электродами на уровне их верхних торцов составляет 20 мм, а на уровне нижних торцов – 80 мм. Высота электродов – 260 мм.

Первый теплообменник 10 с большей поверхностью теплообмена подключен к накопительному баку 28 через вентили 25 и 26, а второй теплообменник 9 с меньшей поверхностью – к радиаторам 19 системы отопления. Теплообменники выполнены в виде спирали и изготовлены из медной трубы условным диаметром 19 мм. Площадь поверхности теплообмена первого теплообменника составляет – 0,4 м<sup>2</sup>, а второго – 0,235 м<sup>2</sup>.



Фиг.1 Теплотехническая схема гелиоэлектрической системы теплообеспечения

1 – корпус пароводонагревателя; 2 – водогрейное пространство; 3 – паровое пространство; 4 – электроды; 5 – токоввод; 6 – проходной изолятор; 7 – электромагнитный клапан для продувки; 8 – датчик контроля уровня котловой воды; 9, 10 – встроенные теплообменники; 11 – электромагнитный клапан для отбора пара; 12, 13, 17, 22, 23, 25, 26, 30, 31, 34, 37, 38, 42 – вентили; 14, 18, 24 – электромагнитные клапаны; 15 – вытеснительная труба; 16 – вытеснительный бачок; 19 – радиаторы; 20, 39 – расширительный бачок; 21, 27, 33 – циркуляционные насосы; 28 – теплоизолированный накопительный бак; 29 – теплообменник бака; 32 – обратный клапан; 35 – предохранительный клапан; 36 – гелиоколлектор; 40, 41, 43 – термодатчики; 44 – щит управления

Пароводонагреватель снабжен вытеснительным бачком 16, соединенным с его нижней частью через трубу 15 и предназначенным для приема вытесняемой котловой воды. Накопительный бак 28 вместимостью 500 л оборудован теплообменником 29.

Гелиоколлектор 36, состоящий из 70 вакуумированных колб с тепловой трубкой и имеющий площадь апертуры 5,7 м<sup>2</sup>, подключен к теплообменнику 29 бака 28, образует вместе с циркуляционным насосом 33 нагревательный контур. Для обеспечения циркуляции воды в контурах теплообменников пароводонагревателя предусмотрены насосы 21 и 27. Технологическая вода в баке и теплоноситель в системе отопления нагреваются при их прохождении через соответствующие теплообменники 10 и 9 за счет тепловых потоков, передаваемых от пара при его конденсации. Поскольку теплообменники находятся в верхней части корпуса пароводонагревателя, то образовавшийся конденсат стекает непосредственно в котловую воду, что повышает надежность работы установки.

Щит управления собран на базе панельного программируемого логического контроллера СПК105 компании ОВЕН, объединяющего функции ПЛК и графической панели оператора с сенсорным управлением.

Благодаря новой конструкции пароводонагреватель может работать в следующих режимах:

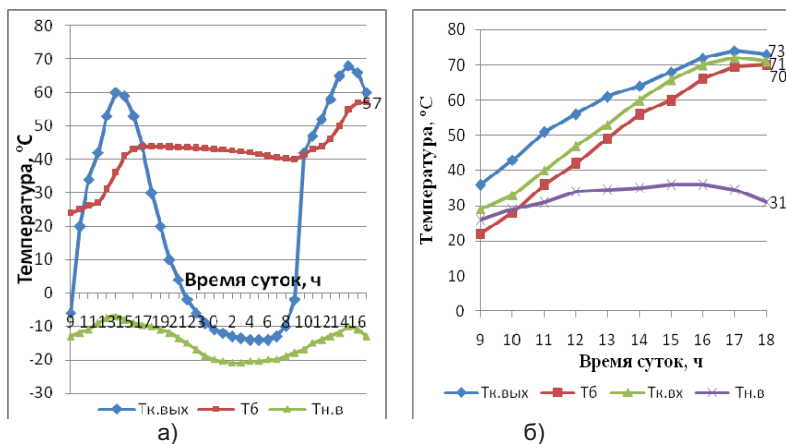
- пароснабжение технологических процессов: отбор пара осуществляется через электромагнитный клапан 11, подача подпиточной воды – через электромагнитный клапан 14, при этом насосы 21, 27 отключены и электромагнитные клапаны 18, 24 закрыты;

- нагрев технологической воды в баке: в светлое время суток нагрев воды осуществляется гелиоколлектором, и при необходимости температуру доводит до требуемого значения, прогоняя ее через первый теплообменник 10, при этом электромагнитные клапаны 11,18 закрыты, насос 21 отключен, насосы 27, 33 включены, электромагнитный клапан 24 открыт, горячая вода подается к потребителям через вентиль 42;

- отопление помещений: нагрев теплоносителя осуществляется вторым теплообменником 9, при этом электромагнитные клапаны 11, 24 закрыты, насос 27 отключен, насос 21 включен, электромагнитный клапан 18 открыт;

- одновременное теплоснабжение систем горячего водоснабжения и отопления, при этом электромагнитный клапан 11 закрыт, насосы 21, 27 включены, электромагнитные клапаны 18, 24 открыты.

На фиг.2а показана динамика суточного изменения температур теплоносителя на выходе из коллектора, воды в баке и наружного воздуха, полученная в ходе натурных испытаний гелиоколлектора в холодные дни февраля.



Фиг.2 Динамика суточного изменения температур теплоносителя на выходе из коллектора, воды в баке и наружного воздуха

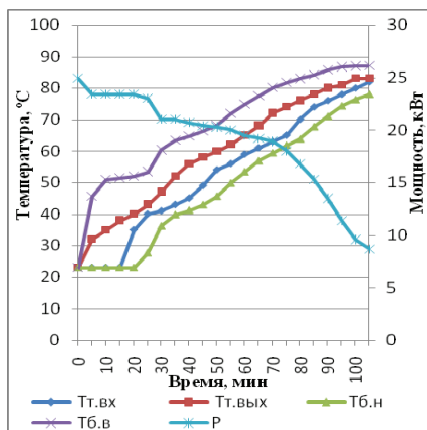
$T_{к.в.вых}$  – температура теплоносителя на выходе гелиоколлектора;  $T_b$  – средняя температура воды в баке;  $T_{к.в.х}$  – температура теплоносителя на входе гелиоколлектора;  $T_{н.в}$  – температура наружного воздуха.

Анализ экспериментальных данных показывает, что в течение первого дня, когда температура наружного воздуха ( $T_{н.в}$ ) изменилась в пределах  $-13\text{ }^{\circ}\text{C} \dots -7\text{ }^{\circ}\text{C}$  при ясной погоде, гелиоколлектор нагревает воду в баке от  $24\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $44\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а затем в ночное время происходит понижение температуры воды до  $41\text{ }^{\circ}\text{C}$  при понижении  $T_{н.в}$  ночью до  $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В следующий световой день она нагревается до температуры до  $57\text{ }^{\circ}\text{C}$  при колебании  $T_{н.в}$  в пределах  $-20\text{ }^{\circ}\text{C} \dots -10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В первый день степень нагрева

составила  $44-24=20$  °С, а во второй день –  $57-41=16$  °С, что составляют соответственно 40% и 32% требуемого значения ( $60-10=50$  °С), а при этом к.п.д. составляет 0,56 и 0,5 соответственно. На фиг.26 представлены результаты испытаний, проведенных в начале июля. Анализ данных показывает, что гелиоколлектор способен нагреть воду объемом 500 л от 22 °С до 70 °С при ясной погоде и колебании  $T_{н.в}$  в пределах 26...31°С, а при переменной облачности – до 55 °С. Степень нагрева воды составляет соответственно 48 °С 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. Экономия электроэнергии за год может составить примерно 5500...7000 кВт·ч.

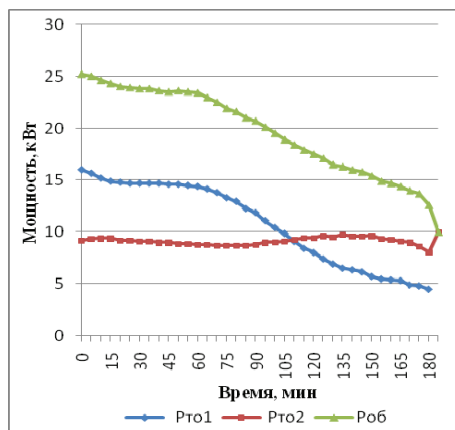
Результаты экспериментальных исследований пароводонагревателя в режиме пароснабжения показали, что время переходного процесса, в течение которого мощность возрастает от начального значения 9,9 кВт до установившегося (номинального) значения 25 кВт, составляет 8 мин. В установившемся режиме паропроизводительность установки составляет в среднем 33 кг/ч. Установлено, что при удельном сопротивлении питательной воды более 50 Ом·м установка работает непрерывно без продувки котловой воды не менее 8 часов.

На фиг.3 представлена динамика изменения температуры воды в верхней и нижней частях накопительного бака, на входе и выходе первого теплообменника 10 с большей поверхностью теплообмена, а также мощности пароводонагревателя.



Фиг.3 Динамика изменения мощности и температур воды в баке и первом теплообменнике (ТО1)

$T_{т.вх}$  – температура воды на входе ТО1;  
 $T_{т.вых}$  – температура на выходе ТО1;  
 $T_{б.н}$  – температура воды в нижней части бака;  
 $T_{б.в}$  – температура воды в верхней части бака.



Фиг.4 Динамика изменения тепловых мощностей теплообменников (ТО1 и ТО2)

$P_{то1}$  – мощность, передаваемая ТО1;  
 $P_{то2}$  – мощность, передаваемая ТО2;  
 $P_{об}$  – общая мощность.

Как видно из фиг.3, в течение периода нагрева происходит плавное снижение мощности от номинального значения 25,0 кВт до 8,7 кВт, т.е. имеет место саморегулирование мощности в зависимости от величины тепловой нагрузки. Это объясняется тем, что с течением времени возникает дисбаланс между мощностью

пароводонагревателя и тепловым потоком, передаваемым через теплообменник к нагреваемой воде, что обуславливает повышение давления пара.

Это, в свою очередь, приводит к постепенному вытеснению часть котловой воды и понижению ее уровня, и, как следствие, снижению мощности. Причем, резкое ее снижение в определенном промежутке времени чередуются с ее постоянством в следующем промежутке времени. Такой же характер имеет динамика изменения температур. Это обусловлено тем, что в результате принудительной циркуляции весь объем воды, находящейся в баке, несколько раз проходит через теплообменник. При этом продолжительность нагрева воды в баке от 20 °С до 82°С составляет  $t=105$  мин., а средняя мощность -  $P_{cp}=20,2$  кВт, к.п.д  $\eta=0,97$ .

При использовании теплообменника с меньшей поверхностью теплообмена для нагрева воды в баке продолжительность составляет  $t=115$  мин (1,92 ч), а средняя мощность -  $P_{cp}=19,6$  кВт.

Для экспериментального исследования работы пароводонагревателя в режиме отопления на вход второго теплообменника подается проточная вода, предварительно подогретая до температуры  $70\pm 2$  °С. Анализ полученных результатов показывает, что при расходе воды 8 л/мин и перепаде температур  $90-72=18$  °С мощность составляет в среднем 10 кВт, что достаточно для отопления помещений площадью до 130 м<sup>2</sup>.

При работе пароводонагревателя в режиме одновременного нагрева воды в баке и теплоносителя в системе отопления тепловая мощность, передаваемая первым теплообменником, за время работы уменьшается от 16 до 4,5 кВт. При этом вода в баке нагреется до температуры 80 °С за 180 мин. Колебание мощности второго теплообменника, подключенного к системе отопления, значительно меньше и оно происходит в пределах 8...10 кВт (фиг.4).

Проведенные расчеты показывают, что использование гелиоэлектрической системы теплообеспечения в молочных блоках ферм позволяет снизить капитальные затраты и эксплуатационные издержки до 30 %.

### **Заключение**

Разработана конструктивно-технологическая схема гелиоэлектрической системы теплообеспечения, содержащей гелиоколлектор с накопительным баком и электродный пароводонагреватель и радиаторы отопления. Результаты испытаний показали, что при климатических условиях г. Алматы вклад гелиоколлектора в приготовлении горячей воды составляет зимой не менее 40%, а летом – не менее 80%. При этом его к.п.д колеблется в пределах 0,5...0,7, экономия электроэнергии за год составляет 5500...7000 кВт·ч.

Новая конструкция пароводонагревателя, содержащая два встроенных теплообменника и электродную систему с переменным межэлектродным расстоянием расширяет функциональные возможности установок, обеспечивает нормальную работу установок в широком диапазоне изменения удельного сопротивления котловой воды без солевых продувок, а также саморегулирование мощности в зависимости от изменения мощности тепловой нагрузки.

Применение предложенной гелиоэлектрической системы позволяет снизить капитальные затраты и эксплуатационные издержки на теплообеспечение молочных ферм до 30 %.

### **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 Инновационный патент №27943, Республика Казахстан. МПКF22B1/30 Трехфазный электродный парогенератор./ Кешуов С.А., Алдибеков И.Т., Барков В.И., Хасанов А.Р., заяв. № 2013/0641.1, опубл. 25.12.2013, бюл. №12.

3 Инновационный патент №27944, Республика Казахстан. МПКF22B1/30 Электродный парогенератор./ Кешуов С.А., Алдибеков И.Т., Барков В.И., Хасанов А.Р., заяв. № 2013/0642.1, опубл. 25.12.2013, бюл. №12.

**Контакты:**

Кешуов Сейтказы Асылсеитович, доктор технических наук, профессор кафедры “Энергосбережения и автоматика”, КазНАУ, генеральный директор КазНИИМЭСХ, г. Алматы, Казахстан, раб. тел.: +7 (727) 247 96 00, моб. тел.: +7 777 236 90 01, E-mail: [keshuov@mail.ru](mailto:keshuov@mail.ru)

Алдибеков Исабай Танирбергенович, доктор технических наук, профессор кафедры “Энергосбережения и автоматика”, КазНАУ, г. Алматы, Казахстан, моб. тел.: +7 707 564 18 05, E-mail: [ait54@mail.ru](mailto:ait54@mail.ru)

Хасанов Алик Расимович, инженер, КазНИИМЭСХ, г. Алматы, Казахстан, раб. тел.: +7 (727) 247 96 40, моб. тел.: +7 701 749 76 23, E-mail: [alikh@kaznu.kz](mailto:alikh@kaznu.kz)

**Докладът е рецензиран.**