

### **Введение**

В рамках реализации Государственной программы развития сельских территорий в 2011–2015 гг. в Республике Беларусь намечено построить 20 тысяч жилых домов в сельской местности.

В целях экономии энергетических ресурсов для горячего водоснабжения и отопления этих объектов планируется использовать возобновляемые источники энергии, в частности солнечную энергию, что практикуется во всех высокоразвитых странах мира. Хорошо зарекомендовали себя комбинированные системы нагрева воды модульного типа, в которых круглый год максимально используется энергия солнца с подогревом воды до заданных значений температуры ( $50 \pm 10$ ) °С при помощи встроенных в бак (аккумулятор тепла) электрических нагревателей (ТЭНов), включаемых по команде от системы управления (контроллера).

Для оснащения жилых домов такими комбинированными системами тепло- и водоснабжения потребуется изготовить не менее 60 тысяч единиц гелиоводонагревательного оборудования с общей площадью рабочих поверхностей гелиоколлекторных модулей более 100 тыс. м<sup>2</sup>. Ожидаемая экономия углеводородного топлива, по оценкам специалистов, должна составить не менее 30 %. Перед разработчиками и изготовителями таких систем поставлена актуальная задача повышения их энергетической эффективности и снижения себестоимости.

Как известно, в агропромышленном комплексе значительная часть топливно-энергетических ресурсов страны расходуется на системы теплоснабжения производственных и социально-бытовых объектов (административно-бытовых корпусов, животноводческих комплексов и птицефабрик, доильно-молочных блоков молочно-товарных ферм, жилых домов и т. п.), в частности на их горячее водоснабжение, отопление и технологические нужды. Сельские объекты, потребляющие тепло, территориально весьма рассредоточены. Их централизованное теплоснабжение практически отсутствует, а единичная мощность объектов в большинстве случаев невелика (десятки кВт).

Для теплоснабжения таких объектов целесообразно использовать солнечную энергию и применять комбинированные системы на базе модульных гелиоколлекторов и автоматизированных котлов, что позволит, как отмечалось выше, на 30 % сократить потребление углеводородного топлива, особенно в период с апреля по сентябрь, когда солнечное излучение наибольшее и достигает 5 кВт·ч/м<sup>2</sup> в день.

Гелионагревательное теплоэнергетическое оборудование характеризуется отсутствием эмиссии парниковых газов при функционировании и имеет высокие коэффициенты преобразования. Модульный принцип наращивания мощности позволяет на основе унифицированных гелиоколлекторных модулей создавать установки требуемой производительности.

На перспективность использования солнечной энергии в Республике Беларусь указывает опыт использования энергии солнечного излучения в европейских государствах, имеющих близкие климатические условия (Дания, Голландия, Швеция, Великобритания, северная часть Германии и др.). В программе освоения солнечной энергии России отмечается, что ее использование считается эффективным до широт Санкт-Петербурга, что значительно севернее Беларуси. В мире в 2000 году находилось в эксплуатации свыше 70 млн  $m^2$  солнечных коллекторов, к 2010 году эта цифра удвоилась. Есть страны, где приход солнечной энергии сравнительно невысок, а масштабы использования солнечных коллекторов в том же 2000 году были весьма значительны: Германия (3,1 млн  $m^2$ ), Австрия (1,6 млн  $m^2$ ), Дания (0,297 млн  $m^2$ ), Нидерланды (0,180 млн  $m^2$ ).

#### **Гелиоводонагревательное одноконтурное оборудование с естественной (термосифонной) и принудительной циркуляцией теплоносителя**

В настоящее время в нашей республике эксплуатируются недостаточно энергоэффективные солнечные подогреватели воды пассивного типа (с естественной циркуляцией теплоносителя), работающие только в весенне-летний период времени, и гелиоводонагревательное оборудование активного типа с принудительной, создаваемой с помощью насоса, циркуляцией жидкого теплоносителя через гелиоколлекторные модули, также работающее в летний сезон. Гелиосистемы активного типа просты в эксплуатации и надежны, но в изготовлении и эксплуатации они намного дороже гелиосистем пассивного типа. Одним из основных их недостатков является независимость расхода теплоносителя от интенсивности солнечной радиации.

В запатентованной нами гелиосистеме принудительной циркуляции для нагрева воды [1], содержащей бак-аккумулятор с подающим и обратным трубопроводами, гелиоколлектор и насосный узел, фотоэлектрический преобразователь солнечной энергии питает электродвигатель насоса, прокачивающего воду через гелиоколлектор.

Таким образом, в автономно работающей гелиосистеме происходит автоматическое саморегулирование расхода теплоносителя (воды), то есть при повышении интенсивности солнечной радиации повышается скорость циркуляции теплоносителя, и наоборот, что позволяет поддерживать постоянство температуры воды на выходе из гелиоколлектора,

снижать тепловые потери и повышать коэффициент полезного действия гелиосистемы до 70 %.

### **Гелиоводонагревательное двухконтурное оборудование с вакуумированными гелиоколлекторными трубками**

За последние годы масштаб производства установок для получения солнечной энергии вырос более чем на 200 %, что вызвано благоприятным отношением общества к альтернативной энергетике на фоне существенного роста цен на традиционные энергоносители. Использование в настоящее время двухконтурного гелиоводонагревательного оборудования с вакуумированными гелиоколлекторными трубками стало возможным не только в регионах с теплым климатом, но и в районах с низкими температурами и невысокими значениями солнечной радиации. Эффективность таких гелиосистем была подтверждена их отличной работой в сложных климатических условиях северной части Аляски.

В первом (солярном) контуре циркуляции теплоносителя через гелиоколлектор обычно используется незамерзающий теплоноситель (антифриз). При этом циркуляция может быть как принудительной с помощью насоса по команде от контроллера, поддерживающего заданную температуру воды в баке-аккумуляторе и на выходе из коллектора, так и естественной (циркуляция легкокипящего теплоносителя в термосифонной тепловой трубе).

Современные гелиоколлекторы позволяют полностью обеспечить нужды жильцов усадебного дома в горячей воде на протяжении 7–8 месяцев в году, а в остальное время подогревают воду до 30 °С, существенно снижая расход газа или электричества. Подсчитано, что такие гелиоколлекторы способны сэкономить до 80 % средств, направленных на оплату горячего водоснабжения. В переходный период (весна, осень) гелиоколлектор может полностью взять на себя функцию отопления дома. В целом экономия углеводородного топлива в течение года может составить около 60 %. Если сравнивать солнечный подогрев воды с электрическим, то экономия может увеличиться в 2 раза. В результате срок окупаемости гелиоколлектора составит 5–7 лет [2]. Если учесть индексацию цен, вызванную постоянным ростом стоимости энергоносителей, то срок окупаемости может снизиться до 3–4 лет.

Срок эксплуатации определяется износом деталей устройства. Единственным изнашиваемым элементом гелиоколлекторной системы является циркуляционный насос. Эксплуатация систем горячего водоснабжения с использованием гелиоколлекторов показывает, что они служат до 20 лет без затрат на техническое обслуживание. По сравнению с другими системами подогрева воды, эксплуатация гелиоколлекторной системы является наиболее экономичной. Например, газовый котел требует замены горелок 1 раз в 4–5 лет при регулярном обслужи-

вании специалистами. Замена ТЭНов в электрических системах подогрева воды осуществляется каждые 3–5 лет.

Теплоносителем в гелиоколлекторной системе может быть любая незамерзающая жидкость. В европейской практике принято использовать жидкости на основе глицерина – этилен-гликоль или пропиленгликоль с присадками, защищающими теплопроводы от коррозии, а резиновые уплотнители – от разбухания и околостенения. Этилен-гликоль в системе теплопередачи наиболее эффективен. Однако по причине ядовитых свойств использовать его в жилых помещениях запрещено. Данный теплоноситель в Европе используется только в системах отопления промышленных зданий. Поэтому предпочтение отдается пропиленгликолю [3]. При монтаже система испытывается избыточным давлением, после чего находящийся в верхней точке первого циркуляционного контура воздушный клапан перекрывается. В герметичном замкнутом первом контуре протечки и испарение исключаются.

В настоящее время для повышения энергетической эффективности водонагревающих солнечных коллекторов за счет исключения специального пластинчатого теплообменника, устанавливаемого для передачи тепла от теплоносителя первого контура ко второму, специалистами из Научно-инженерного центра (г. Маалот, Израиль) разработаны и серийно выпускаются комбинированные солнечные коллекторы с тепловыми трубами (ТТ) и фотоэлектрическими панелями (ФЭП). Последние обеспечивают получение электрической энергии, которой достаточно для привода циркуляционного насоса во втором контуре (теплоноситель – вода) в системах активного типа [3]. Такие комбинированные гелиоколлекторы предназначены, в основном, для выработки тепловой энергии. Новая конструкция гелиоколлектора была изготовлена на базе стандартной солнечной панели израильской фирмой «Nimrod». Из трубок указанной панели были изготовлены ТТ. Для удешевления конструкции гелиоколлектора с ТТ использовались замкнутые двухфазные термосифоны (ДТС). Каждый ДТС был заполнен бинарным теплоносителем на основе метанола. Названные теплопередающие элементы не только увеличивали тепловую эффективность, но и существенно повышали надежность гелиоколлектора [3].

В процессе сравнительных испытаний стандартных и комбинированных коллекторов определялись температура воды, количество поглощенной тепловой энергии, тепловая эффективность и количество накопленной электрической энергии за световой день (8–10 часов). Испытания показали, что количество поглощаемой тепловой энергии комбинированным коллектором в 1,26 раза больше, чем стандартным, за счет применения ТТ и ФЭП. При этом тепловоспринимающая поверхность комбинированного коллектора была в 1,4 раза меньше стандартного при одном и том же количестве нагреваемой воды (150 кг).

Применение вакуумированных коллекторов позволит получать горячую воду с температурой более 40 °С в зимнее время при понижении температуры окружающей среды ниже 0 °С. Высокая износостойчивость вакуумированных гелиоколлекторов позволяет применять их практически неограниченно долго, сверх установленного срока эксплуатации. Даже в случае отключения дополнительных внешних источников тепла система отопления на основе вакуумированных гелиоколлекторов будет продолжать поддерживать в отапливаемом помещении температуру выше 0 °С.

У разработанных нами гелиосистем имеется несколько уровней защиты, главная из которых контролирует температуру воды в баке-аккумуляторе. Если вода нагревается выше 85 °С, срабатывает автоматика и циркуляционный насос отключается. При достижении в баке критических 95 °С открывается клапан и происходит аварийный сброс воды, чтобы предотвратить деформацию бака-аккумулятора. Температура воды, направляющейся к водозаборному крану, не должна превышать 50 °С, поэтому в системе предусмотрен термосмеситель. В системе есть еще одна защита. При превышении в коллекторе температуры 115 °С контроллер останавливает насос, чтобы расширительный бак мог принять образовавшийся пар. Объем расширительных баков в таких гелиоколлекторных системах в 3–4 раза больше, чем в традиционных системах отопления без использования солнечного подогрева.

Контроллер имеет автономный резерв электропитания, что позволяет сохранить настройки при отключении электроэнергии. После возобновления подачи электроэнергии система продолжает работу. Теплоаккумулирующая емкость бака содержит теплоизоляцию с толщиной слоя от 50 мм. Температура воды в баке, если не происходит водозабора, падает не более чем на 5 °С в сутки. Задача гелиоколлекторной системы нагреть воду в течение дня и обеспечить дом горячей водой в часы пиковой нагрузки – утренний и вечерний душ, принятие вечерней ванны. Для этого достаточно нагревать воду до 55 °С – с этой задачей гелиоколлектор справляется.

На основании полученных результатов ранее проведенных исследований элементов оборудования в Научно-практическом центре НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства был разработан и изготовлен опытный образец гелиоводонагревательного оборудования ОГВ-3. Принципиальная схема оборудования показана на рисунке 78.

Как показано на рисунке 78, система состоит из трех гелиоколлекторов (гелиоколлекторное поле), теплообменника (ТО), бака-аккумулятора (БА) и водопроводной арматуры (трубопроводов, кранов, циркуляционных насосов (P1 и P2), предохранительных клапанов, манометра, датчиков температуры, расширительного бака БР1). В первом контуре теплообменника незамерзающая жидкость движется под дей-

ствием насоса P1 через гелиоколлектор, там нагревается солнцем и через теплообменник (ТО) передает тепло во второй контур, по которому циркулирует вода. Вода нагревается в теплообменнике и под действием циркуляционного насоса P2 поступает в бак-аккумулятор (БА). Накапливая тепло (в баке-аккумуляторе) вода поступает в систему горячего водоснабжения потребителя. Для подогрева воды в баке установлены три ТЭНа по 1,2 кВт.

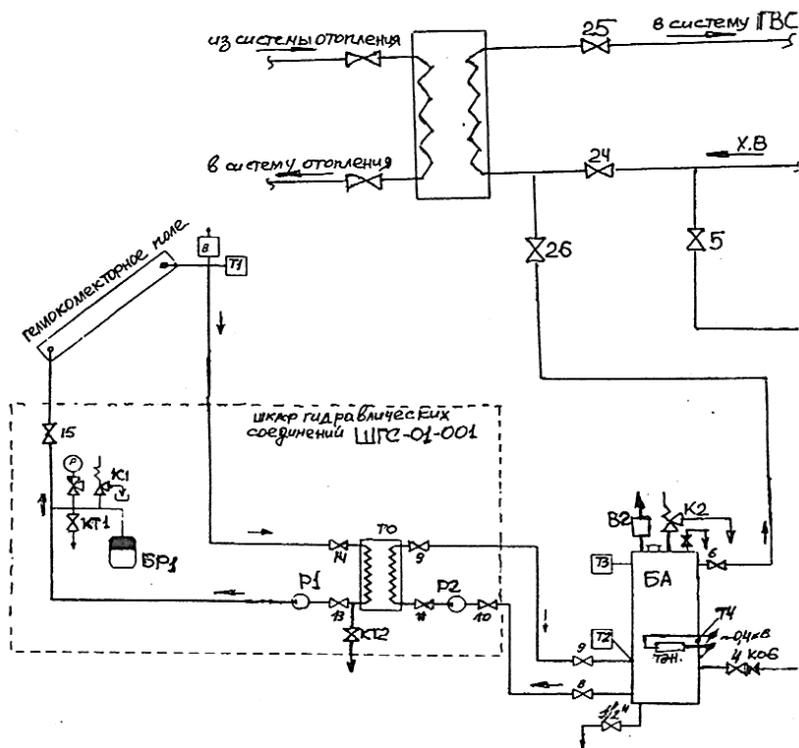


Рисунок 78 – Схема гидравлическая принципиальная гелиоводонагревательного оборудования ОГВ-3

Управление оборудованием для солнечного подогрева воды осуществляется системой автоматического управления на базе контроллера Solar-11.2. На рисунке 79 показана панель шкафа управления ОГВ-3 с контроллером Solar-11.2.

На рисунке 80а, 80б и 80в показаны основные элементы оборудования: гелиоколлекторы, шкаф гидравлических соединений и бак-аккумулятор (шкаф управления с контроллером не показан).



а) б) в)

а – автомат включения шкафа управления; б – автомат включения нагревательных элементов бака-аккумулятора, в – дисплей контроллера Solar-11.2

*Рисунок 79 – Панель шкафа управления ОГВ-3*



а) б) в)

а – вакуумированные гелиоколлекторы; б – шкаф гидравлических соединений; в – бак-аккумулятор

*Рисунок 80 – Основные элементы оборудования гелиоводонагревательного ОГВ-3*

### **Гелиоводонагревательное двухконтурное оборудование с принудительной циркуляцией теплоносителя от преобразователя солнечной энергии**

На наш взгляд, также перспективным направлением в повышении энергоэффективности гелиоводонагревательного оборудования является использование энергии солнца для перекачивания жидких теплоносителей в таких гелиотехнических устройствах, то есть разработка преобразователей энергии типа тепловых двигателей. Нами запатентованы конструкции подобных устройств и подготовлены к испытаниям в натуральных условиях действующие модели некоторых преобразователей солнечной энергии – тепловых двигателей барабанного типа [4] и устройств для перекачивания жидкостей [5–6] с помощью таких двигателей (преобразователей солнечной энергии непосредственно в механическую работу).

Целью планируемых нами фундаментальных исследований является повышение эффективности преобразования низкопотенциальной тепловой энергии солнца в работу по перекачиванию жидкости [4–6].

### **Выводы**

Для повышения энергоэффективности разрабатываемого в Республике Беларусь гелиоводонагревательного оборудования и снижения сроков его окупаемости необходимо максимально использовать солнечную энергию в течение всего года. Применение комбинированных систем на базе солнечных коллекторных модулей и автоматизированных котлов позволяет сократить потребление углеводородного топлива более чем на 30 %.

Циркуляция теплоносителя в солнечном коллекторном модуле с вакуумированными трубками и автоматической системой управления дает возможность поддерживать постоянную температуру воды на выходе из модуля, снизить тепловые потери и повысить коэффициент полезного действия гелиосистемы до 70 % и более.

*14.08.2014*

### **Литература**

1. Гелиосистема принудительной циркуляции: пат. ВУ № 2189 С2, F 24J 2/42, F 24J 2/46, F 24J 2/48 / М.М. Севернев, В.Н. Дашков, В.В. Кузьмич, Э.К. Снежко, В.О. Китиков; заявитель БелНИИМСХ. – № 1931, заявл. 20.05.1994. // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 1998. – № 2. – С. 136.
2. Система солнечного тепло- и хладоснабжения / Под ред. Э.В. Сарнацкого. – М.: Стройиздат, 1990. – 328 с.
3. Мирмов, Н.И. Комбинированные солнечные коллекторы с тепловыми трубками / Н.И. Мирмов, М.А. Плешинский, А.А. Васильев // Тезисы докладов и сообщений 14 Минского международного форума по тепло- и массообмену. – Минск: ИТМО НАНБ, 2012. – Т. 2, ч. 1. – С. 106–107.
4. Тепловой двигатель: пат. ВУ № 13669 С2, МПК (2009) F 03G 7/06, F 28D 15/04 / Э.К. Снежко; заявитель Э.К. Снежко. – № a20060825, заявл. 08.04.2006.; опубл. 30.04.2008. // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2010. – № 5. – С. 118–119.
5. Устройство для перекачивания жидкости: пат. ВУ № 12450 С2, МПК (2006) F 03G 7/06 / Н.Ф. Капустин, Э.К. Снежко; заявитель РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – № a20060964, заявл. 30.04.2008.; опубл. 29.09.2006 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2009. – № 5. – С. 103.
6. Устройство для перекачивания жидкости для капельного полива овощей в открытом грунте: пат. ВУ № 7490, МПК F 03G 7/06; A 03G 25/00 / А.А. Аутко, В.Т. Самосюк, Н.Ф. Капустин, Э.К. Снежко; заявл. РНПДУП «Институт овощеводства». – № u 20101022, заявл. 08.12.2010. // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2011. – № 4. – С. 201–202.