

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ГЕЛИОУСТАНОВОК

Вагнер В. В., Слесаренко В. В.

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Дальневосточный федеральный университет» (ДВФУ), Владивосток, Россия (690950, г. Владивосток, ул. Суханова, 8), e-mail: [nilest@qip.ru](mailto:nilest@qip.ru)*

Представлены основные задачи, решаемые при автоматизации гелиоустановок. На примере комбинированной солнечно-теплонасосной установки произведено разделение на отдельные системы для упрощения процесса построения системы автоматизации гелиоустановок. Особенности технологических циклов отдельных систем, влияющих на формализацию задач автоматизации процесса управления, накладывают определенные ограничения при реализации автоматизированных систем регулирования. Выбор способа построения автоматизированной системы регулирования для отдельных технологических систем комбинированных гелиоустановок зависит от следующих факторов – необходимой точности поддержания основных величин регулирования, технологических особенностей реализации и передаточных функций регулятора и объекта регулирования. Для управления технологическими процессами комбинированных гелиоустановок целесообразно использовать единую автоматизированную систему управления (типа АСУ ТП), предназначенную для выработки и реализации управляющих воздействий в соответствии с принятыми критериями управления, с применением современных специализированных или общепромышленных контроллеров реального времени.

Ключевые слова: гелиоустановка, солнечно-теплонасосная установка, автоматизированная система управления технологическими процессами, автоматизированная система регулирования.

## RESEARCH STRUCTURE OF SYSTEMS AUTOMATISATION OF SOLAR POWER PLANTS

Vagner V. V., Slesarenko V. V.

*Federal autonomous state institution of higher education "Far Eastern Federal University" (FEFU), Vladivostok, Russian Federation (690950, Vladivostok, Sukhanova str., bld. 8), e-mail: [nilest@qip.ru](mailto:nilest@qip.ru)*

The main issues, solving under solar installations automation are presented. The division of the individual systems for simplifying the process of building an automatic process control system (APCS) has been performed on the combined solar-heat pump unit. The technological cycles peculiarities of individual systems affect the formalization of the automated control process. They also impose certain restrictions on the automated control systems implementation. There are several factors affecting the main criteria of choosing the method of constructing an automated control system for the individual technological systems of combined solar power plants: maintaining the basic quantities of regulation, maintaining of the controller's and the controlled object's technological features and the implementation of the transfer functions. It is advisable to use a single automated control system to control the process of combined solar installations technological processes' managing. These systems provide the development and implementation of control actions in accordance with the management criterions. In addition, the modern specialized or general industrial real-time controllers can be used with them.

Key words: solar power plant, solar-heat pump installation, an automated process control system, an automated control system.

С целью энергосбережения системы теплоснабжения в регионах России, имеющих высокую интенсивность и длительность солнечного сияния, оснащаются солнечными водонагревательными установками [2,6,7]. Эффективность гелиосистем существенно возрастает, если солнечные водонагревательные установки комбинировать с тепловыми насосами [3,4,5]. При этом два нетрадиционных источника тепловой энергии объединяются в единый энергетический комплекс – солнечно-теплонасосную установку (СТНУ).

Важной задачей эксплуатации гелиоустановок типа СТНУ является поддержание непрерывного соответствия между количествами вырабатываемой теплоты и энергии, потребляемой системой горячего водоснабжения здания.

Технологические процессы на СТНУ протекают в сложных условиях. Наблюдается значительное изменение подвода теплоты в бак-аккумулятор от солнечных коллекторов, высокая неравномерность потребления горячей воды при аккумуляции недостаточно больших запасов теплоты, быстрое протекание процессов теплообмена в поверхностных подогревателях и большие запаздывания сигналов по основным каналам регулирующих воздействий на включение теплового насоса при накоплении теплоты в баке-аккумуляторе, интенсивный забор теплоты из бака-аккумулятора и его захлаживание при пиковом потреблении горячей воды.

Достижение эффективного управления работой СТНУ возможно при внедрении единой автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП), предназначенной для выработки и реализации управляющих воздействий в соответствии с принятыми критериями управления.

Исходный уровень автоматизации СТНУ не в полной мере отвечает современным требованиям в части реализации необходимых информационных и управляющих функций. В частности, мало используются средства отображения информации, не разработаны программно-технические средства подсистемы контроля и управления положением солнечных коллекторов относительно источника излучения радиации.

Применение АСУ ТП на СТНУ позволит решить ряд задач, связанных с эксплуатацией установки:

- оперативно оценивать состояние отдельных систем СВНУ по показаниям датчиков и своевременно принимать меры по устранению возникающих аварийных режимов;
- изменять режимы работы установки для получения максимальной эффективности работы как системы в целом, так и отдельных узлов;
- обеспечивать автономность работы установки, что позволит снизить эксплуатационные затраты и уменьшить влияние человеческого фактора на надежность работы СТНУ.

Перспективным способом автоматизации СТНУ является применение специализированных программно-аппаратных комплексов, обеспечивающих взаимодействие между датчиками, управляющими механизмами и человеко-машинным интерфейсом [8]. Это позволяет в режиме реального времени отслеживать необходимые параметры состояния

установки, а также воздействовать на управляющие механизмы в ручном или автоматическом режиме.

При применении программно-аппаратного комплекса обычно решаются следующие задачи:

- обработка информации о состоянии всех технологических процессов в реальном времени;
- автоматизация управления технологическими процессами системы по заранее заданным алгоритмам;
- отображение информации о состоянии системы и ходе различных технологических процессов на экране диспетчерского пульта в удобной и понятной для человека форме (система НМІ);
- ведение базы реального времени о технологическом состоянии установки;
- оповещение эксплуатирующего персонала об аварийных ситуациях (аварийная сигнализация) и управление тревожными сообщениями.

**Объект исследования.** Для исследования структурной схемы автоматизации технологических процессов и наблюдения за влиянием различных регулирующих параметров на состояние узлов СТНУ в режиме реального или квази-реального времени была выбрана действующая установка СТНУ, мощностью 80 кВт. Установка оснащается комплексом измерительных датчиков для регистрации технологических параметров (рис.1). Для изменения технологических режимов работы отдельных узлов и установки в целом устанавливается ряд дополнительных регулирующих механизмов.

Анализ структуры технологических процессов, протекающих в СТНУ, для выявления способов оптимизации автоматического регулирования процессами теплопреобразования позволяет разделить теплогенерирующую установку на совокупность независимых систем:

- система солнечного нагрева теплового аккумулятора (гелиоконтур);
- система подачи и регулирования ГВС;
- систему регенерации тепловой энергии на основе теплового насоса.

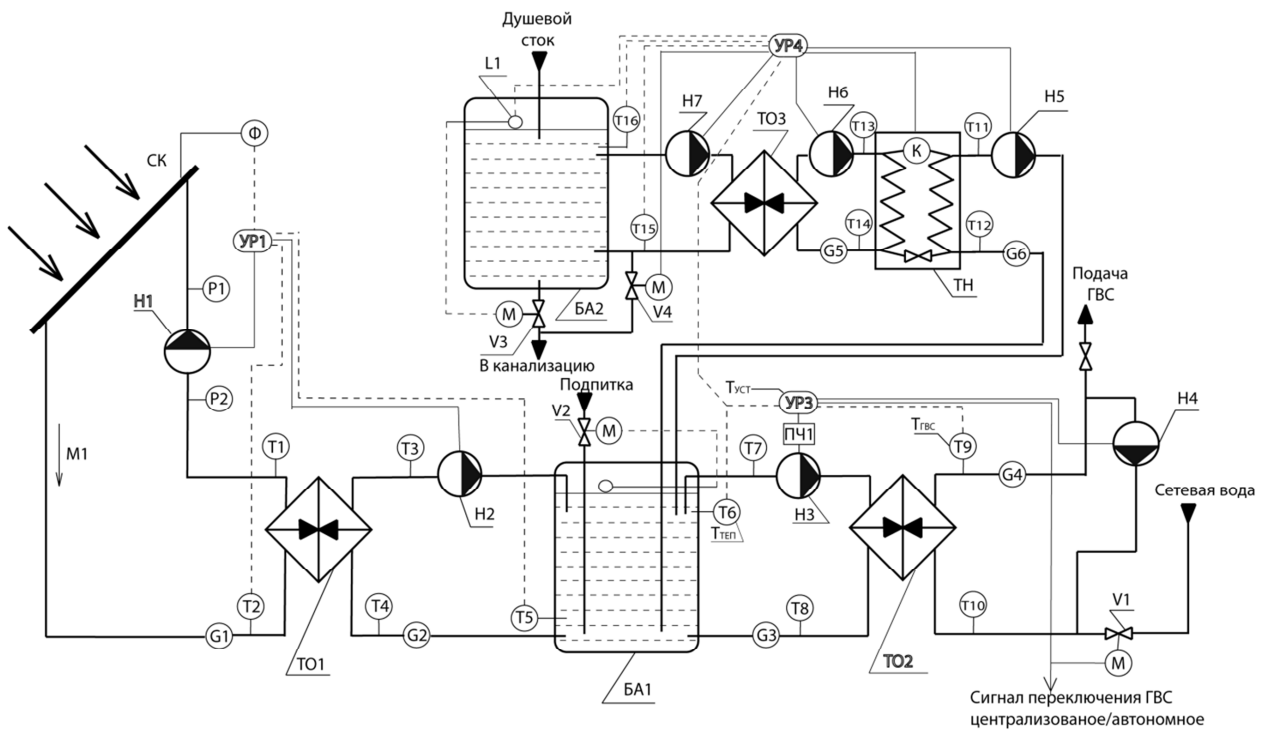


Рис. 1. Структурная схема автоматизации комплекса

Обычно соответствие между поступлением теплоты от солнечных коллекторов, производительностью теплового насоса (ТН) и расходом теплоты в систему ГВС поддерживается по косвенному показателю – температуре воды в баке-аккумуляторе. Общий баланс между поступлением и расходом тепловой энергии контролируется по расходу сетевой воды, поступающей из линии холодного водоснабжения здания в систему ГВС. Вследствие значительной инерционности изменения температуры в баке-аккумуляторе в сравнении с динамическими характеристиками основных технологических комплексов СТНУ, технологические системы СТНУ имеют слабовыраженную связь между собой, вследствие чего можно рассматривать АСР каждой отдельной системы СТНУ независимо.

На действующих СТНУ различие в объектах и задачах управления, регулирующих органах и технических средствах автоматизации определяет особенности работы каждой технологической системы СТНУ, что обуславливает формализацию задач, стоящих перед разрабатываемой АСУ ТП.

**Система солнечного нагрева теплового аккумулятора.** Основными компонентами системы (рис. 1) являются группа солнечных коллекторов СК; циркуляционные насосы Н1, Н2; теплообменник ТО1; датчики температуры Т1, Т5; датчик активности солнечной радиации  $\Phi$ ; управляющий контроллер УР1.

Система автоматизации гелиоконтуров должна решать следующие задачи: пуск и остановку по значению интенсивности солнечной радиации, поддержание различных параметров (температур, расходов, давлений), учет и контроль текущих параметров

(мощности, расходов, температур, давлений, аварийных сбоев) и т.п. Данные задачи могут решаться применением общепромышленных контроллеров или специализированных контроллеров. Ведущие зарубежные производители гелиоустановок, например, фирмы «Viessmann», «Buderus», «Wolf» и др., предлагают свои специализированные контроллеры, которые часто имеют ограничения по мощности агрегатов гелиоустановки и выполняемым задачам [1].

В виду того, что от системы автоматического регулирования гелиоконтра СТНУ не требуется высокая точность поддержания значения регулируемых величин, для регулирования параметров гелиоконтра достаточно применения релейно-пропорциональных регуляторов, работающих по принципу «включено-выключено» по значениям граничных условий управления.

**Система рекуперации тепловой энергии в тепловом насосе.** Основными составляющими системы (рис. 1) являются источник низкопотенциального тепла (теплота сточных вод); трубопроводы подачи сточных вод; трубопроводы сброса избытков стоков в канализацию; теплообменник ТО3; циркуляционные насосы Н5, Н6, Н7; бак-аккумулятор БА2 сточных вод; уровнемер L1 уровня жидкости в баке БА2; управляемый вентиль V3 аварийного сброса избыточного объема стоков; система датчиков температуры Т11-Т16; тепловой насос ТН; регулятор УР4.

Система контуров теплового насоса предназначена для утилизации бросового низкопотенциального тепла, получаемого от сточных вод здания. Основным регулирующим звеном в системе является тепловой насос. Внутренняя система автоматического регулирования режимов работы теплового насоса обеспечивает оптимальный технологический процесс преобразования тепла. Задачи внешней системы автоматизированного управления сводятся к отслеживанию отдельных внешних параметров СТНУ для поддержания работы теплового насоса в оптимальном технологическом режиме, определенном заводом-изготовителем и ограниченном конструктивным исполнением контуров теплообмена.

В виду того, что от системы автоматического регулирования данного контра не требуется высокая точность поддержания значения регулируемых величин, для регулирования параметров рекомендованы релейно-пропорциональные регуляторы, работающие по принципу «включено-выключено».

**Система подачи и регулирования ГВС.** Система регулирования температуры ГВС является основной подсистемой автоматизированного управления СТНУ. Важнейшими составляющими системы подачи и регулирования ГВС являются: трубопроводы сетевой воды; трубопроводы к потребителю и от потребителя; теплообменник ТО2; циркуляционные

насосы Н3 и Н4; управляемый вентиль V1; система управляемых вентилях переключения ГВС в режим централизованное/автономное; система датчиков температуры Т6, Т9; исполнительный механизм регулирования ПЧ1; управляющий контроллер УР3.

Регулируемым параметром в системе является температура прямой воды, поступающей к потребителю  $T_{ГВС}$ . Температура прямой воды в системе должна поддерживаться постоянной в условиях действия возмущения, причиной которого является непостоянный расход горячей воды на стороне потребителей. Также среди факторов, влияющих на температуру прямой воды, можно выделить непостоянство температуры теплоносителя, поступающего из бака-аккумулятора БА1 в теплообменник ТО2 для нагрева прямой воды ГВС (рис. 1) и температуры сетевой воды.

В контуре управления температурой ГВС системы автоматизации СТНУ в качестве алгоритма регулирования используется алгоритм ПИД-регулирования.

Обобщенная структурная схема цифровой системы управления контуром ГВС представлена на рис. 2, где:

$W_{ур}(p)$  – передаточная функция регулятора;

$W_{оп}(p)$  – передаточная функция объекта регулирования;

$W_{ид}(p)$  – передаточная функция измерительного датчика.

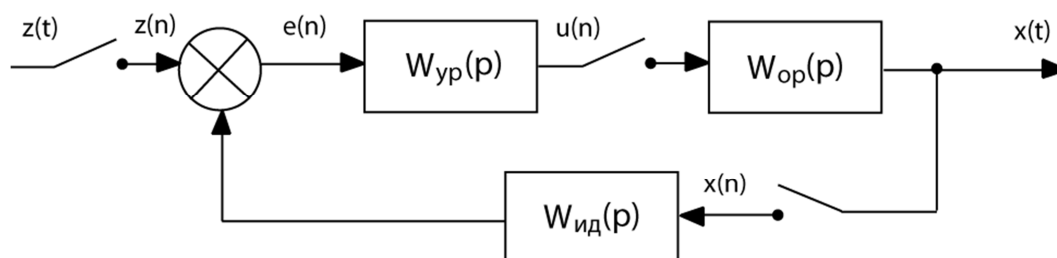


Рис. 2. Структурная схема цифровой модели управления контуром ГВС

ПИД-регуляторы характеризуются тремя коэффициентами  $X_p$ ,  $\tau_i$  и  $\tau_d$ . Сложность настройки ПИД-регулятора заключается в том, что для расчета этих коэффициентов необходимо знать значение передаточной функции объекта регулирования, то есть статические и динамические параметры системы ГВС здания. На практике определение данных параметров представляет сложную задачу, в виду непостоянства характеристик системы и случайности действия основных факторов возмущения.

Для упрощения настройки ПИД-регулятора применяют автоматическую настройку регулятора, что стало возможным в связи с развитием микропроцессорной техники. Регуляторы, настроенные в автоматическом режиме, чаще настроены хуже, чем настроенные в ручном режиме. Поэтому рекомендуется после настройки регулятора в автоматическом

режиме подстроить коэффициенты ПИД-регулятора, основываясь на анализе работы объекта регулирования в различных режимах. Коррекция характеристики ПИД-регулятора осуществляется изменением значений полосы пропорциональности ( $X_p$ ), постоянной времени интегрирования ( $\tau_{и}$ ), постоянной времени дифференцирования ( $\tau_{д}$ ).

### **Выводы**

1. СТНУ является сложным многопараметрическим объектом регулирования, что требует применения специальных методов управления.
2. В структуре управления СТНУ можно выделить три независимых контура регулирования – узел солнечных коллекторов с тепловым аккумулятором, узел теплового насоса и систему ГВС, для которых необходимо применять различные виды регуляторов.
3. Для управления технологическими процессами комбинированных гелиоустановок целесообразно использовать единую автоматизированную систему управления (типа АСУ ТП), предназначенную для выработки и реализации управляющих воздействий в соответствии с принятыми критериями управления, с применением современных специализированных или общепромышленных контроллеров реального времени.

### **Список литературы**

1. Автоматизация солнечных тепловых установок / Бутузов В.А. [и др.] // Альтернативная энергетика и экология. – 2009. – № 12. – С. 15-18.
2. Бутузов, В. А. Анализ энергетических и экономических показателей гелиоустановок горячего водоснабжения / В. А. Бутузов // Промышленная энергетика. – 2001. – № 10. – С. 15-18.
3. Бутузов, В. А. Перспективы применения тепловых насосов / В. А. Бутузов // Промышленная энергетика. – 2005. – № 10. – С. 23-34.
4. Гершкович В. Ф. От централизованного теплоснабжения к тепловым насосам / В. Ф. Гершкович // Новости теплоснабжения. – 2010. – №11. – С. 34-39.
5. Особенности применения гелиоустановок с тепловыми насосами / В. В. Слесаренко, Г. А. Богданович, В. А. Жуков, И. Б. Слесаренко // Энергосбережение и водоподготовка. – 2011. – № 5. – С. 24-28.
6. 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.

7. Слесаренко, В. В. Оценка эффективности установок солнечной энергетики в системах теплоснабжения / В. В. Слесаренко, В. В. Копылов, В. В. Княжев // Вестник ДВО РАН. – 2010. – №3. – С. 125-130.

8. Технические средства автоматизации. Программно-технические комплексы и контроллеры: Учебное пособие / И. А. Елизаров, Ю. Ф. Мартемьянов, А. Г. Схиртладзе, С. В. Фролов. – М.: Издательство Машиностроение-1, 2004. – 180 с. – ISBN 5-94275-104-8.

**Рецензенты:**

Юдаков А. А., д. т. н., зам. директора Института химии ДВО РАН, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт химии Дальневосточного отделения Российской академии наук», г. Владивосток.

Кувшинов Г. Е., д. т. н., профессор, профессор Инженерной школы Дальневосточного федерального университета, Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток.