

УДК: 697.34; 681.51.

Д. А. КОВАЛЕВ, канд. техн. наук, ассистент

А. А. БОБУХ, канд. техн. наук, доцент

Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А. Н. Бекетова,  
г. Харьков

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ЗА СЧЕТ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

*Рассматриваются вопросы повышения энергоэффективности инженерных систем жилищно-коммунального хозяйства при получении и использовании геотепловой энергии за счет применения автоматизации технологических процессов. В результате исследований была разработана функциональная схема автоматизации технологических процессов офисных помещений при получении и использовании геотепловой энергии в отопительный период для четырех циклов теплообмена.*

*Розглядаються питання підвищення енергоефективності інженерних систем житлово-комунального господарства при отриманні і використанні геотеплової енергії за рахунок застосування автоматизації технологічних процесів. В результаті досліджень була розроблена функціональна схема автоматизації технологічних процесів офісних приміщень при отриманні і використанні геотеплової енергії в опалювальний період для чотирьох циклів теплообміну.*

### **Введение**

Человечество на протяжении своего развития использует тепловую энергию солнца, различных природных источников, а с недавнего времени и геотепловой энергии (гео., от греческого ге – земля). В толщах верхней части земной коры находятся подземные воды в жидком, твердом и парообразном состоянии, это природные растворы содержащие свыше 60 химических элементов, а также микроорганизмы (окисляющие и восстанавливающие различные вещества). По степени минерализации эти воды подразделяют [1, 2] на: пресные (до 1 г/л), солоноватые (от 1 г/л до 10 г/л), соленые (от 10 г/л до 50 г/л) и подземные рассолы (свыше 50 г/л); в более поздних классификациях к этим рассолам относят воды с минерализацией свыше 36 г/л. По температурным данным (в °С) различают подземные воды: переохлажденные (ниже 0), холодные (от 0 до – 4), весьма холодные (от – 4 до – 20), теплые (от 2 до 37), горячие (от 37 до 50), весьма горячие (от 50 до 100) и перегретые (свыше 100). Из указанных подземных вод практический интерес представляют подземные рассолы, температура которых находится в пределах от 4 до 20 °С (теплые подземные воды). Их низкопотенциальную геотепловую энергию наиболее предпочтительно используют посредством тепловых насосов – термодинамических установок, в которых тепловая энергия от низкопотенциального источника передается потребителю с более высокой температурой.

По принципу действия тепловые насосы похожи на обычные кондиционеры реверсивного типа (способные отапливать и охлаждать воздух в помещениях), а поэтому отличаются низкими эксплуатационными расходами, поскольку используют относительно постоянную температуру земли.

Источником низкопотенциальной тепловой энергии может быть тепло как естественного (тепло земли, подземные воды, наружный воздух), так и искусственного (тепло технологических процессов, промышленные сбросы, удаляемый вентиляционный воздух, бытовые тепловыделения) происхождения. Тепловые насосы могут быть использованы для кондиционирования (охлаждения) воздуха, отопления помещений (в зимний период), приготовления горячей воды (круглогодично). Такое положение связано с поиском экологических решений: вместо традиционного сжигания ископаемого топлива – использование альтернативных источников энергии,

в частности, геотепловой энергии подземных рассолов посредством тепловых насосов. По различным (труднопроверяемым) данным в мире установлено более 100 млн. тепловых насосов, из них около 55% – в Японии (для отопления жилого фонда), ~ 13,5% – в США, ~ 19% – в Китае, 5-7% – в Европе (без данных по Украине и России). В Швеции, Швейцарии, Австрии и Германии тепловые насосы, забирающие геотепловую энергию, применяются только для отопления жилья и приготовления горячей воды.

Проведенные в последние несколько лет исследования [3] позволили установить, что технологические процессы получения и использования геотепловой энергии в отопительный период условно можно разделить на четыре взаимосвязанных и взаимозависимых замкнутых технологических цикла теплообмена.

Для повышения энергоэффективности указанных циклов теплообмена целесообразно применение систем автоматизации. В результате исследований была разработана функциональная схема автоматизации технологических процессов (ФСА ТП) получения и использования геотепловой энергии в отопительный период для четырех циклов теплообмена с применением современных контрольно-измерительных приборов и средств автоматизации (КИП и СА), в том числе, микропроцессорного контроллера (МПК). Без потери общности подхода к разработке ФСАТП из-за сложной технологической схемы вышеуказанных циклов рассмотрим краткое описание фрагмента указанной ФСАТП (рисунок).

Первым – из четырех технологических циклов теплообмена является георассольный замкнутый цикл теплового насоса (1), в состав которого входят: источник (скважина) (1.1) геотепловой энергии, из которого теплый рассол (28.1) через фильтр очистки (1.2) подается насосом (1.3) с электродвигателем в испаритель (2.1) второго цикла теплообмена (2), где рассол (28.1) в процессе теплообмена охлаждается, затем охлажденный рассол (28.2) возвращается к источнику (1.1) геотепловой энергии для повторного нагрева, то есть реализуется замкнутый георассольный цикл теплообмена теплового насоса (1).

Второй технологический цикл теплообмена (2) состоит из: испарителя (2.1), в котором холодный фреон (18.1) получает тепловую энергию от теплого рассола (28.1), в результате теплообмена подогревается от  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $-2^{\circ}\text{C}$ , при этом холодный фреон (18.1) начинает кипеть, превращаясь в пар фреона (18.2), который поступает в компрессор (2.2) с электродвигателем. Компрессор (2.2) сжимает пар фреона (18.2), давление сжатого пара фреона (28.3) повышается, а температура его возрастает от  $-2^{\circ}\text{C}$  до  $100^{\circ}\text{C}$ . Сжатый пар фреона (18.3) подается в конденсатор (2.3), в который также подается для нагрева остывший теплоноситель (1.1) из третьего цикла (3). В конденсаторе (2.3) в результате теплообмена сжатый пар фреона (18.3), охлаждаясь от  $100^{\circ}\text{C}$  до  $70^{\circ}\text{C}$  и конденсируясь, превращается в жидкий фреон (18.4), при этом его давление еще остается высоким и он поступает в дроссельный клапан (2.4), а остывший теплоноситель (1.1) нагревается до  $50^{\circ}\text{C}$  и горячий теплоноситель (1.2) возвращается в буферный теплообменник (бак-аккумулятор) (3). В клапане (2.4) давление жидкого фреона (18.4) падает, а температура снижается до начального состояния ( $-20^{\circ}\text{C}$ ), после чего холодный фреон (18.1) возвращается в испаритель (2.1), то есть реализуется замкнутый технологический цикл теплообмена (2).

Третий технологический цикл теплообмена представлен буферным теплообменником (баком-аккумулятором) (3) с водой для нагрева, в который поступает горячий теплоноситель (1.2) после технологического цикла теплообмена (2) с температурой  $50^{\circ}\text{C}$ . В результате теплообмена в буферном теплообменнике (баке-аккумуляторе) (3) вода нагревается, нагревая обратный остывший теплоноситель (1.3) из четвертого технологического цикла, а горячий теплоноситель (1.2) охлаждается, при этом остывший теплоноситель (1.1) циркуляционным насосом (4) с электродвигателем подается в конденсатор (2.3) технологического цикла теплообмена (2) для повторного теплообмена.

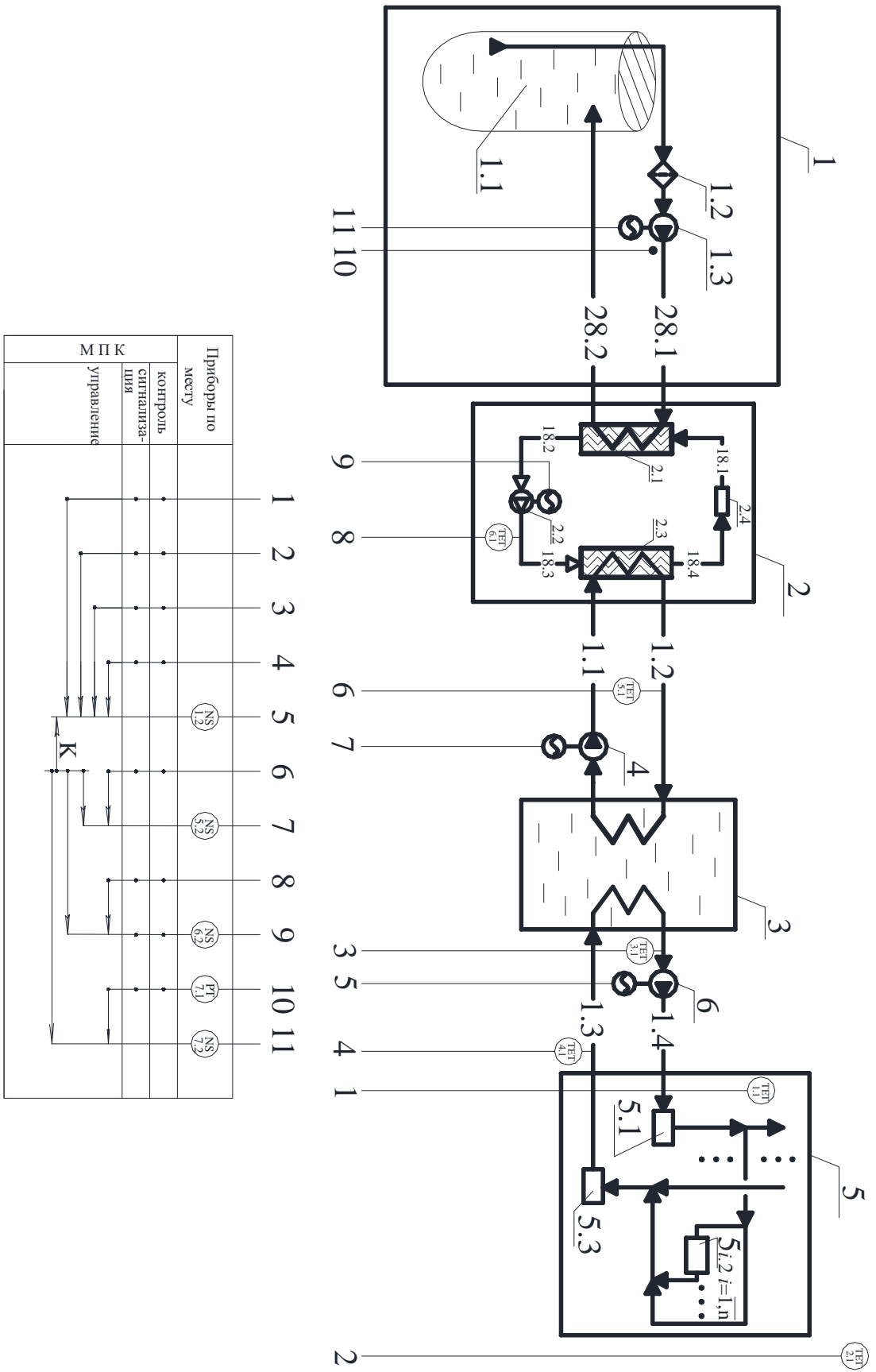


Рисунок. ФСА ТП получения и использования геотепловой энергии

Четвертый технологический цикл теплообмена представляет систему отопления (СО) (5) офисных помещений, в которую горячий теплоноситель (1.4) центробежным насосом (6) с электродвигателем подается в вертикальную двухтрубную СО (5) с нижней подачей по магистральным стоякам в коллекторы (5.1) и далее – на каждом этаже в поофисную двухтрубную горизонтальную СО<sub>i</sub> (5i.2), где с отдельным контуром по каждому офису (на ФСА ТП показана только одна СО – (5i.2)). Обратный остывший теплоноситель (1.3) из СО (5) через коллекторы (5.3) возвращается в буферный теплообменник (бак-аккумулятор) (3) для повторного теплообмена.

Для повышения энергоэффективности получения и использования геотепловой энергии в отопительный период необходимо предусмотреть автоматический контроль температуры воздуха (поз. 1.1) в офисных помещениях СО<sub>i</sub> (5i.2) и управление этой температурой изменением расхода горячего теплоносителя (1.4) в СО (5) указанных помещений с коррекцией по температурам: (поз. 2.1; 3.1; 4.1) наружного воздуха, горячего (1.4) в СО (5) и обратного остывшего (1.3) из СО (5) теплоносителей соответственно; – температуры (поз. 5.1) горячего теплоносителя (1.2) в буферный теплообменник (бак-аккумулятор) (3) – изменением расхода остывшего теплоносителя (1.1) из указанного теплообменника; – температуры (поз. 6.1) сжатого пара фреона (18.3) – изменением расхода этого фреона; кроме того – давления теплого рассола (28.1) в напорном патрубке насоса подачи его изменением расхода этого рассола; а также – автоматическое управление температурой воздуха (поз. 1.1) в офисных помещениях СО<sub>i</sub> (5i.2) в праздничные и выходные дни и ночное время (при необходимости) по ТАЙМЕРУ (К) МПК со снижением этой температуры до 14 °С после окончания соответствующих рабочих дней уменьшением расхода горячего теплоносителя (1.4) в СО (5) путем изменения числа оборотов электродвигателя циркуляционного насоса (6), кроме того – уменьшением числа оборотов электродвигателей: циркуляционных насосов (1.3) и (4) и компрессора (2.2) без учета значений температур: (поз. 2.1; 3.1; 4.1) наружного воздуха, теплоносителя в подающем (1.4) и – обратном (1.3) трубопроводах соответственно с последующим нагревом температуры воздуха (поз. 1.1) в офисных помещениях СО<sub>i</sub> (5i.2) за два часа до начала рабочего дня с возобновлением учета вышеуказанных температур.

Для разработки фрагмента ФСА ТП получения и использования геотепловой энергии среди современных МПК по функциональным возможностям для реализации приведенных функций применяем компактный, высоконадежный, многоканальный, многофункциональный МПК РЕМИКОНТ Р-2000, отличающийся высокими технико-экономическими показателями и возможностью эффективно решать как относительно простые так и сложные задачи управления во многих отраслях промышленности, сельского и городского хозяйства.

В состав МПК РЕМИКОНТ Р-2000 входят: центральный микропроцессорный блок контроллера – процессор; устройства связи с объектом управления; блоки усилителей и переключателей сигналов; блоки расширения и преобразования интерфейса; блоки питания, межблочные и клеммно-блочные соединители.

В памяти МПК РЕМИКОНТ Р-2000 хранится 256 алгоритмов. Разрядность данных, которые обрабатываются процессором – 8, 16, 32. Производительность процессора до 5 млн. операций в секунду. Объем массива пассивной памяти – 512 кБ, оперативной – 256 кБ, твердотельный флеш-диск – 1 МБ.

Общее количество входных аналоговых унифицированных сигналов постоянного тока 4-20 мА – 170; выходных аналоговых унифицированных сигналов постоянного тока 4-20 мА (управляющих воздействий) – 50; дискретных входов – 176, выходов (управляющих воздействий) – 176.

Штатным пакетом для разработки и проверки прикладных программ в МПК РЕМИКОНТ Р-2000 является пакет программного обеспечения ULTRA – LOGIK, позволяющий выполнять проверку прикладных программ в реальном времени.

Для автоматического контроля температуры в соответствующих местах ФСА ТП в качестве первичного – передающего преобразователя применяем термопреобразователи сопротивления медные с унифицированными выходными сигналами постоянного тока

4-20 мА, пропорциональными измеренной температуре, типа КВАНТ ДТ.1 (поз. 1.1; 2.1; 3.1; 4.1; 5.1; 6.1), сигналы от которых поступают на соответствующие входы МПК, который по алгоритму «контроль температуры» выполняет преобразование их в единицы температуры (°С). При выходе их за нормы технологического регламента, МПК по алгоритму «технологическая сигнализация температуры» выполняет выдачу звуковых и световых сигналов и регистрацию этих значений на экране дисплея, в это же время по алгоритму «расчет и выдача управляющих воздействий», МПК рассчитывает величину этих воздействий с выдачей их на соответствующие исполнительные механизмы (ИМ), выбор которых описан ниже.

Для автоматического контроля избыточного давления в напорном патрубке циркуляционного насоса подачи теплого рассола в качестве передающего преобразователя (ПрП) применяем измерительный тензорезисторный преобразователь избыточного давления с унифицированными выходными сигналами постоянного тока 4-20мА, пропорциональными измеренному давлению, типа КВАНТ ДИ.11 (поз. 7.1), сигналы от которого поступают на вход МПК, который по алгоритмам как для температуры, только для давления выполняет соответствующие функции, при этом единицы давления (Па, КПа, МПа).

Для автоматических пуска/останова электродвигателей соответствующих насосов и компрессора, а также изменения их числа оборотов в качестве ИМ применяем электромагнитный пускатель в комплекте типа ПМЕ (поз. 1.2; 5.2; 6.2; 7.2).

Для фрагмента ФСА ТП разработаны автоматизированные системы управления (АСУ) параметрами технологических процессов:

1. АСУ температурой воздуха в офисных помещениях с выдачей управляющих воздействий на управление этой температурой изменением расхода горячего теплоносителя в СО офисных помещений путем изменения числа оборотов электродвигателя циркуляционного насоса подачи указанного теплоносителя с коррекцией по температурам: наружного воздуха, горячего теплоносителя в СО и остывшего теплоносителя из СО (поз. 1.1; 2.1; 3.1; 4.1; 1.2; МПК).

2. АСУ температурой воздуха в офисных помещениях в праздничные и выходные дни и ночное время (при необходимости) по ТАЙМЕРУ (К) МПК с выдачей управляющих воздействий на снижение этой температуры до 14°С после окончания соответствующих рабочих дней уменьшением расхода горячего теплоносителя в СО указанных помещений путем изменения числа оборотов электродвигателя циркуляционного насоса подачи этого теплоносителя, а также уменьшением числа оборотов электродвигателей насоса подачи остывшего теплоносителя, компрессора подачи жидкого фреона и насоса подачи теплого рассола без учета значений температур: наружного воздуха, горячего теплоносителя в СО и остывшего из СО с последующим нагревом температуры воздуха в офисных помещениях за два часа до начала рабочего дня с возобновлением учета вышеуказанных температур (ТАЙМЕР К МПК; поз. 1.2; 5.2; 6.2; 7.2; МПК).

3. АСУ температурой горячего теплоносителя в буферный теплообменник (бак-аккумулятор) с выдачей управляющих воздействий на управление этой температурой изменением расхода остывшего теплоносителя из указанного теплообменника путем изменения числа оборотов электродвигателя циркуляционного насоса подачи этого теплоносителя (поз. 5.1; 5.2; МПК).

4. АСУ температурой сжатого пара фреона в конденсатор с выдачей управляющих воздействий на управление этой температурой изменением расхода сжатого пара фреона в указанный конденсатор путем изменения числа оборотов электродвигателя компрессора подачи этого фреона (поз. 6.1; 6.2; МПК).

5. АСУ давлением теплого рассола в напорном патрубке насоса его подачи с выдачей управляющих воздействий на управление этим давлением путем изменения числа оборотов электродвигателя указанного насоса (поз. 7.1; 7.2; МПК).

В результате проведенных ранее исследований технологические процессы получения и использования геотепловой энергии условно разделены на четыре взаимосвязанных и взаимозависимых замкнутых технологических цикла теплообмена,

для которых разработана ФСА ТП получения и использования геотепловой энергии в отопительный период с применением современных КИП и СА, в том числе, МПК. Реализация разработанной ФСА ТП будет способствовать экономии энергоресурсов на 15–20 % и повышению энергоэффективности исследуемой инженерной системы отопления офисных помещений.

**Список литературы:**

1. ГОСТ 17403-72 Гидрохимия. Основные понятия. Термины и определения.
2. ГОСТ Р 51574-2000. Соль поваренная пищевая. Технические условия
3. Сидкина Е. С. Геохимия подземных рассолов западной части Тунгусского артезианского бассейна: автореф. Дис. ... Канд. Техн. Наук: 25.00.07/ Сидкина Евгения Сергеевна; Национальный исследовательский Томский политехнический университет – Томск, 2013. – 21 с.

**INCREASE ENERGY TO EFFICIENCY OF RECEIPT AND USE OF  
GEOTHERMAL ENERGY FOR ACCOUNT OF AUTOMATION OF  
TECHNOLOGICAL PROCESSES**

D. A. KOVALEV, Candidate of Engineering  
A. A. BOBUH, Candidate of Engineering, Associate Professor

*The questions of increase are examined energy to efficiency of the engineering systems of housing and communal services at a receipt and use of geothermal energy due to application of automation of technological processes. As a result of researches the functional diagram of automation of technological processes of office apartments was worked out at a receipt and use of geothermal energy in a heating period for four cycles of heat exchange.*

Поступила в редакцию 26.08 2013 г.