



and secure. In addition, RXJava library will be used to facilitate the work with the network, threads and simplify the code inside the interactor.

RxJava is a Java VM implementation of Reactive Extensions: a library for composing asynchronous and event-based programs by using observable sequences. It extends the observer pattern to support sequences of data/events and adds operators that allow to compose sequences together declaratively while abstracting away concerns about things like low-level threading, synchronization, thread-safety and concurrent data structures.

### Referenses

- [1] “Inversion of Control Containers and the Dependency Injection pattern,” martinowler.com.
- [2] J. Weiskotten , “Dependency Injection and Testable Objects,” *Dr. Dobbs Journal*, 2007. [Online]. Available: <http://www.ddj.com/development-tools/185300375>. [Accessed: 2017].
- [3] W. Scott , “Mapping Objects to Relational Databases: O/R Mapping In Detail,” *Agile data*. [Online]. Available: <http://www.agiledata.org/essays/mappingObjects.html>. [Accessed: 12ADAD].
- [4] L. Stevens and R. Owen, “The Truth About a Basic HTML5 Web Page,” *The Truth About HTML5*, pp. 13–15, 2013.
- [5] N. Murray, A. Lerner, F. Coury , and C. Taborda, *ng-book 2: The Complete Book on Angular 2*. Fullstack.io, 2016.
- [6] J. Duckett, *HTML and CSS: design and build websites*. Indianapolis, IN: Wiley & Sons, 2011.

### Література

- [1] Inversion of Control Containers and the Dependency Injection pattern [Електронний ресурс] / – Режим доступу до ресурсу: martinowler.com.
- [2] Weiskotten J. Dependency Injection and Testable Objects [Електронний ресурс] / J. Weiskotten // *Dr. Dobbs Journal*. – 2007. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.ddj.com/development-tools/185300375>.
- [3] Scott W. Mapping Objects to Relational Databases: O/R Mapping In Detail [Електронний ресурс] / W. Scott // *Agile data* – Режим доступу до ресурсу: <http://www.agiledata.org/essays/mappingObjects.html>.
- [4] Stevens L. The Truth About a Basic HTML5 Web Page / L. Stevens, R. Owen. // *The Truth About HTML5*. – 2013. – С. 13–15.
- [5] *Ng-book 2: The Complete Book on Angular 2* / N.Murray, A. Lerner, F. Coury, C. Taborda., 2016. – 626 с.
- [6] Duckett J. *HTML and CSS: design and build websites*. / J. Duckett. – Indianapolis: Wiley & Sons, 2011.

---

УДК 681.51

## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ОТОПЛЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

А.А. Процишен<sup>1</sup>, Е.О. Улицкая<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Одесский национальный политехнический университет, Украина  
ORCID: <sup>1</sup>0000-0001-6241-3458; <sup>2</sup>0000-0002-8572-538X

Copyright © 2017 by author and the journal “Automation technological and business - processes”.  
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).  
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



DOI: [10.15673/atbp.v10i4.818](https://doi.org/10.15673/atbp.v10i4.818)

---

*Аннотация:* В исследовании проведен анализ системы отопления и горячего водоснабжения с использованием возобновляемых источников энергии.



Для разработки системы автоматического управления отоплением и горячим водоснабжением, которая включает в себя солнечные коллектора, тепловой насос и источник централизованного отопления, были поставлены следующие задачи:

- исследование научной литературы по эксплуатации возобновляемых источников энергии;
- разработка структурной схемы участка автоматизации;
- разработка алгоритма управления системой отопления и горячего водоснабжения.

Показана актуальность разработки системы управления объекта с изменяемой структурой. В качестве объекта автоматизации рассматривается система теплоснабжения и горячего водоснабжения с применением возобновляемых источников энергии. Исследована возможность совместного использования теплового насоса, солнечных коллекторов и централизованного источника тепловой энергии для отопления и горячего водоснабжения. Разработана технологическая схема, схема автоматизации, алгоритм управления, программное обеспечение комплекса. Предложенный алгоритм управления системой отопления и горячим водоснабжением реализует каскадную работу оборудования с приоритетом включения возобновляемых источников тепловой энергии для решения задачи сокращения потребления энергоресурсов. Программное обеспечение разработанной системы управления и имитационное моделирование системы отопления и горячего водоснабжения осуществлено в среде программирования контроллера ОВЕН ПЛК160. Для технической реализации выбраны современные устройства системы автоматического управления и возобновляемые источники тепловой энергии. Управление средствами автоматизации, сбор и визуализация данных осуществляется с помощью SCADA-системы WebHMI, действующей в операционной системе реального времени. Полученные результаты имитационного моделирования подтверждены внедрением и успешной эксплуатацией разработанной системы автоматического управления на коммунальном предприятии г. Южный. Совместная работа возобновляемых источников тепловой энергии и котельного оборудования под управлением разработанной системы управления доказала свою энергоэффективность как во время, так и вне отопительного сезона, и позволяет достичь 30% экономии средств на отопление и ГВС.

**Abstract:** The study analyzed the heating system and hot water supply with using renewable energy sources.

To design an automatic control system for heating and hot water supply, which includes a solar collector, a heat pump and a centralized heating source, the following tasks were set:

- study of scientific literature on the operation of renewable energy sources;
- design of a structural diagram of the automation section;
- design of an algorithm for controlling the heating system and hot water supply.

The relevance of designing a control system for an object with a variable structure is shown. As an automation object, the system of heat supply and hot water supply with the use of renewable energy sources is considered. The possibility of sharing a heat pump, solar collectors and a centralized source of thermal energy for heating and hot water supply was explored. The technological scheme, the automation scheme, the control algorithm, the software of the complex are designed. The proposed algorithm for controlling the heating system and hot water supply realizes the cascading operation of equipment with the priority of switching on renewable sources of thermal energy to solve the problem of reducing energy consumption. The software of the developed control system and simulation of the heating and hot water supply system was implemented in the programming environment of the controller OVEN ПЛК160. For technical implementation, modern automatic control system devices and renewable sources of thermal energy have been selected. The management of automation tools, data collection and visualization is carried out with the help of SCADA-system WebHMI, operating in the real-time operating system. The obtained results of simulation are confirmed by the introduction and successful operation of the designed automatic control system at the municipal enterprise of the town of Yuzhnyi. The joint work of renewable sources of thermal energy and boiler equipment under the management of the developed management system has proved its energy efficiency both during and outside the heating season, and it makes it possible to achieve 30% savings on heating and hot water.

**Ключевые слова:** отопление, автоматизация, солнечный коллектор, тепловой насос.

**Keywords:** heating, automation, solar collector, heat pump.

## Введение

Разработка решений, направленных на развитие энергоснабжения, является актуальной проблемой в наше время. Этой теме придают особое внимание как государство, так и бизнес [1]. Человечество стоит на пороге энергетического кризиса, связанного с истощением запасов природного топлива. В связи с этим возникает проблема недостатка природных ресурсов в ближайшем будущем и повышение цен на них. Существует множество альтернатив источников тепловой энергии природному топливу [2], которые могут заменить полностью или частично ископаемое. Решением проблемы является научно-технический прогресс в сфере возобновляемых источников энергии и энергетических установок, а также систем их использования.

Одно из направлений развития энергетики, которое смягчает проблему - это использование комбинированных взаимозаменяемых источников тепла в системах отопления и их автоматизация.

Экономическая привлекательность решения проблемы в этом направлении состоит в уменьшении затрат на отопление, связанное с использованием солнечной энергии, энергии грунта и экономных режимов работы автоматизированной системы, а так же сравнительно небольшие инвестиции и срок окупаемости.

Экологическая привлекательность связана с уменьшением потребления тепла с котельной, то есть выбросов



углекислого газа в атмосферу соответственно директиве 2001/80/ЕС [3].

Целью статьи является разработка системы автоматического управления отоплением и горячим водоснабжением (ГВС), которая включает в себя солнечные коллектора, тепловой насос (ТН) и источник централизованного отопления.

#### Анализ последних исследований и публикаций.

Существует множество научных работ, посвященных исследованию солнечных коллекторов и ТН. Так, например, целью работы [4] является проверка энергоэффективности использования установки горячего водоснабжения на основе солнечного коллектора. При анализе полученных данных была доказана эффективность использования солнечных коллекторов. В работе [5] решались задачи синтеза методики разработки системы автоматического управления температурным режимом, управления структурой объекта и выбора критерия оценки эффективности системы, моделирования системы, выбора и обоснования ее структур. По результатам решения в основу прототипа взят комплекс технических средств, состоящий из солнечного коллектора, аккумулятор-бака, грунтового теплообменник-аккумулятора, теплового насоса, резервного источника тепловой энергии, теплообменников потребителя. В работе [2] рассматривается оценка роли альтернативных источников энергии в решении энергетических проблем мировой экономики. В статье [6] рассмотрены вопросы применения тепловых насосов для решения вопросов энергосбережения. Но в этих работах не рассмотрен алгоритм совместного использования ТН, солнечных коллекторов и центрального теплоснабжения для отопления и ГВС.

#### Описание возобновляемых источников энергии.

В разработанной системе отопления и горячего водоснабжения кроме централизованного отопления используются возобновляемые источники энергии – тепловой насос и солнечные коллектора (рисунок 1).

Тепловой насос – устройство, с помощью которого извлекают тепловую энергию из почвы, грунтовых вод или воздуха и используют её для нагрева воды. Работа теплового насоса аналогична работе холодильной машины, но в холодильной машине производится холод путём захвата тепла испарителем, и с помощью конденсатора осуществляется выброс тепла в окружающую среду, а в тепловом насосе процесс обратный.

В системе отопления предусмотрена установка теплового насоса «грунт-вода» в комплекте теплового насоса ЕСО-42 ф. «Protis», колодца геотермального поля с 14-ю геотермальными коаксиальными зондами, с помощью которых отбирается тепло от земли. Породы на глубине более 20 м - самый стабильный источник тепла, так как и зимой, и летом температура почвы одинакова.

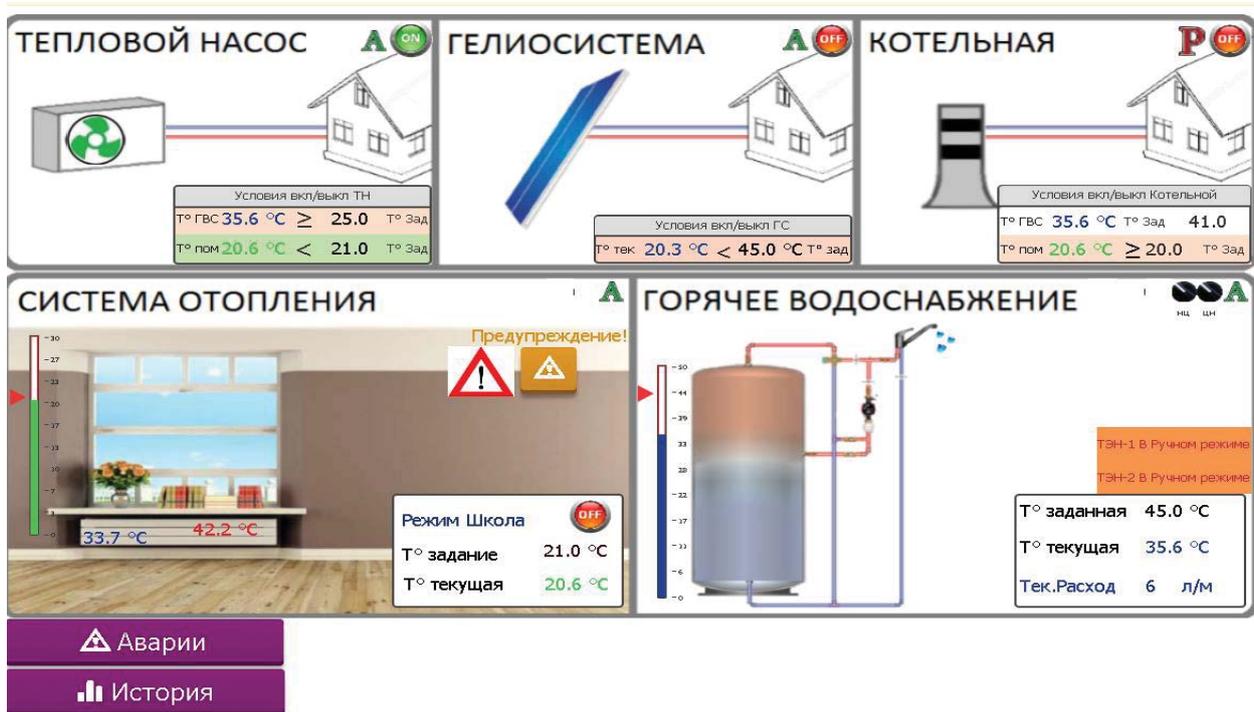


Рис. 1 – Источники тепловой энергии и потребитель

Геотермальный коаксиальный зонд конструктивно состоит из наружной пластиковой трубы заглушенной с одной стороны и вставленной в неё второй трубы для подачи холодного теплоносителя. Наружная труба  $D=63\text{мм}$ . Внутренняя –  $32\text{мм}$ . Длина зондов –  $50\text{м}$ . Устанавливаются зонды под углом  $35^{\circ}$ - $65^{\circ}$  по технологии наклонно-кластерного бурения.

У коаксиального зонда, в силу особенностей конструктивного устройства, тепловой напор внизу зонда максимальный, где и объём взаимодействующего грунта самый большой и падает с приближением к колодцу, где



объём грунта уменьшается. Такое техническое решение позволяет более равномерно использовать массив грунта и не переохлаждать зону вокруг колодца. Технические характеристики теплового насоса ECO-42 ф. «Protis» показаны в таблице 1.

**Табл. 1 – Технические характеристики теплового насоса ECO-42 ф. «Protis»**

Модель	Мощность, $\frac{\text{кВт}}{\text{ч}}$	Электропотребление, $\frac{\text{кВт}}{\text{ч}}$
ECO 42	42	9,2

Солнечный коллектор – устройство для сбора солнечной тепловой энергии, которая переносится с помощью излучения. При попадании солнечного света в гелиоколлекторе происходит повышение температуры теплоносителя, который нагревает через теплообменник воду для потребителя.

Системой отопления предусматривается установка 12-ти солнечных вакуумных коллектора ETC-30 ф. «Argicus».

Коллекторы установлены на кровле здания под углом  $45^{\circ}$ . Ориентация солнечных коллекторов – Ю.

Для приготовления горячего водоснабжения в тепловом пункте установлен пластинчатый теплообменник и два бака-аккумулятора, емкостью 1500л. Для предотвращения закипания теплоносителя в солнечных коллекторах предусмотрена установка систем Drainback.

Особенностью данной системы является то, что теплоноситель наполняет солнечный коллектор только в тот момент, когда можно и нужно отобрать тепло с коллектора. В остальное время солнечный коллектор опустошается, а теплоноситель автоматически сливается в специальную емкость — Drainback tank. Это позволяет избежать закипания теплоносителя и, как следствие, надолго сохранить его рабочее состояние. Поскольку в момент перегрева солнечного коллектора теплоноситель в нем отсутствует, исключено образование пара, что приводит к невозможности дальнейшей циркуляции теплоносителя до его полной конденсации. Незакипаемая солнечная система не требует внимания потребителя и работает полностью автономно.

Кроме возобновляемых источников энергии в системе используется тепло источника централизованного теплоснабжения.

Система горячего водоснабжения — закрытая (вода на горячее водоснабжение забирается из водопровода и нагревается в теплообменнике сетевой водой).

Система разработана для отопления и горячего водоснабжения детского сада №3 г. Южный Одесской области. Параметры помещения и экономическое обоснование использования возобновляемых источников энергии для отопления и ГВС показаны в таблице 2. Расчетные данные энергопотребления соответствуют технико-экономическому обоснованию и подтверждены главным инженером проекта.

**Табл. 2 – Параметры помещения и экономическое обоснование использования возобновляемых источников энергии для отопления и ГВС**

Наименование параметра	Ед. измерения	Значение
Объём отапливаемых помещений	$\text{м}^3$	8182,4
Расчетная продолжительность отопительного периода	час	3960
Температура воздуха внутри помещения	$^{\circ}\text{C}$	20
Средняя расчётная температура наружного воздуха за отопительный период	$^{\circ}\text{C}$	1
Расчётная тепловая нагрузка на отопление	Гкал/год	168
Продолжительность ГВС в отопительный период	час	3960
Продолжительность ГВС в неотапливаемый период	час	4440
Температура горячей воды	$^{\circ}\text{C}$	45
Температура холодной воды в отопительный период	$^{\circ}\text{C}$	5
Температура холодной воды в неотапливаемый период	$^{\circ}\text{C}$	15
Нормативное среднесуточное потребление горячей воды	л/сут	28,5
Количество измерений за сутки	чел	385



Расчётные затраты тепла на ГВС	Гкал/год	90
Потребление тепла от солнечного коллектора	Гкал/год	37,5
Потребление тепла от теплового насоса	Гкал/год	147
Расчётное потребление тепла от внешнего источника тепловой энергии	Гкал/год	73,5
Расход электроэнергии на систему отопления		
До реконструкции	кВтч/год	0
После реконструкции	кВтч/год	504
Расход электроэнергии на систему горячего водоснабжения		
До реконструкции	кВтч/год	47 849
После реконструкции	кВтч/год	1260
Расход электроэнергии на гелиосистему	кВтч/год	756
Расход электроэнергии на тепловой насос	кВтч/год	58782
Стоимость электрической энергии без НДС	грн/кВтч	1,9515
Стоимость тепловой энергии без НДС	грн/Гкал	1084,04
Затраты на отопление и ГВС без использования возобновляемых источников энергии	грн/год	373 059
Затраты на отопление и ГВС с использованием возобновляемых источников энергии	грн/год	199 307
Затраты на реконструкцию без НДС	<b>грн</b>	1500 000
Срок окупаемости	лет	8,6

Основные решения направлены на достижение минимальных затрат теплоты, прежде всего за счет:

- установки автономных источников тепла (тепловой насос, гелиосистема);
- изоляция трубопроводов современными теплоизоляционными материалами;
- предусмотрена автоматизация тепловых процессов;
- устройство коммерческого узла учета тепла.

#### **Структурная схема участка автоматизации.**

На рисунке 2 показана структурная схема автоматизации отопления и ГВС.

На схеме изображены:

1, 2 - баки-аккумуляторы, 3 - теплообменник системы ГВС, 4,8 – распределительные гребенки, 5 – трехходовой клапан системы ГВС, 6 – задвижка контура солнечных коллекторов, 7 – задвижка контура теплового насоса, 9 – трехходовой клапан системы отопления, 10 – задвижка обхода теплоносителя в аварийной ситуации системы автоматизации, 11, 17 – обратный клапан, 12 - задвижка котельной, 13 – теплообменник гелиосистемы (ГС), 14 - Система "Drainback", 15 - Солнечный вакуумный коллектор, 16 - Тепловой насос "грунт-вода".

Солнечный контур работает по заданной температуре помещения  $T_{пом}$  и по температуре теплоносителя  $T_{mix1}$  в коллекторе 4 (рисунок 1). Если температура теплоносителя больше чем температура  $T_{гс}$ , то циркуляционные насосы гелиоконтура отключаются и затвор 6 закрывается. Тем самым уменьшаются теплотери.

Тепловой насос 16 включается по потребностям системы отопления и горячего водоснабжения, т.е. если не выполняется условия по заданным температурам одной из систем (не справляется гелио контур и температура  $T_{гвс}$  в баках 1,2 и температура  $T_{пом}$  меньше заданной), то запускается тепловой насос и наоборот, если условия по обеим системам выполнены, он отключается.

Котельная запускается путем открытия/закрытия затвора 12 с электроприводом. Контур котельной открывается по потребностям систем отопления и горячего водоснабжения, т.е. если не выполняются условия по заданным температурам одной из систем и при этом включен тепловой насос (не справляется гелио контур и тепловой насос и температуры в баках или в помещении меньше заданной), то открывается контур котельной и наоборот, если условия по обеим системам выполнены, контур закрывается.

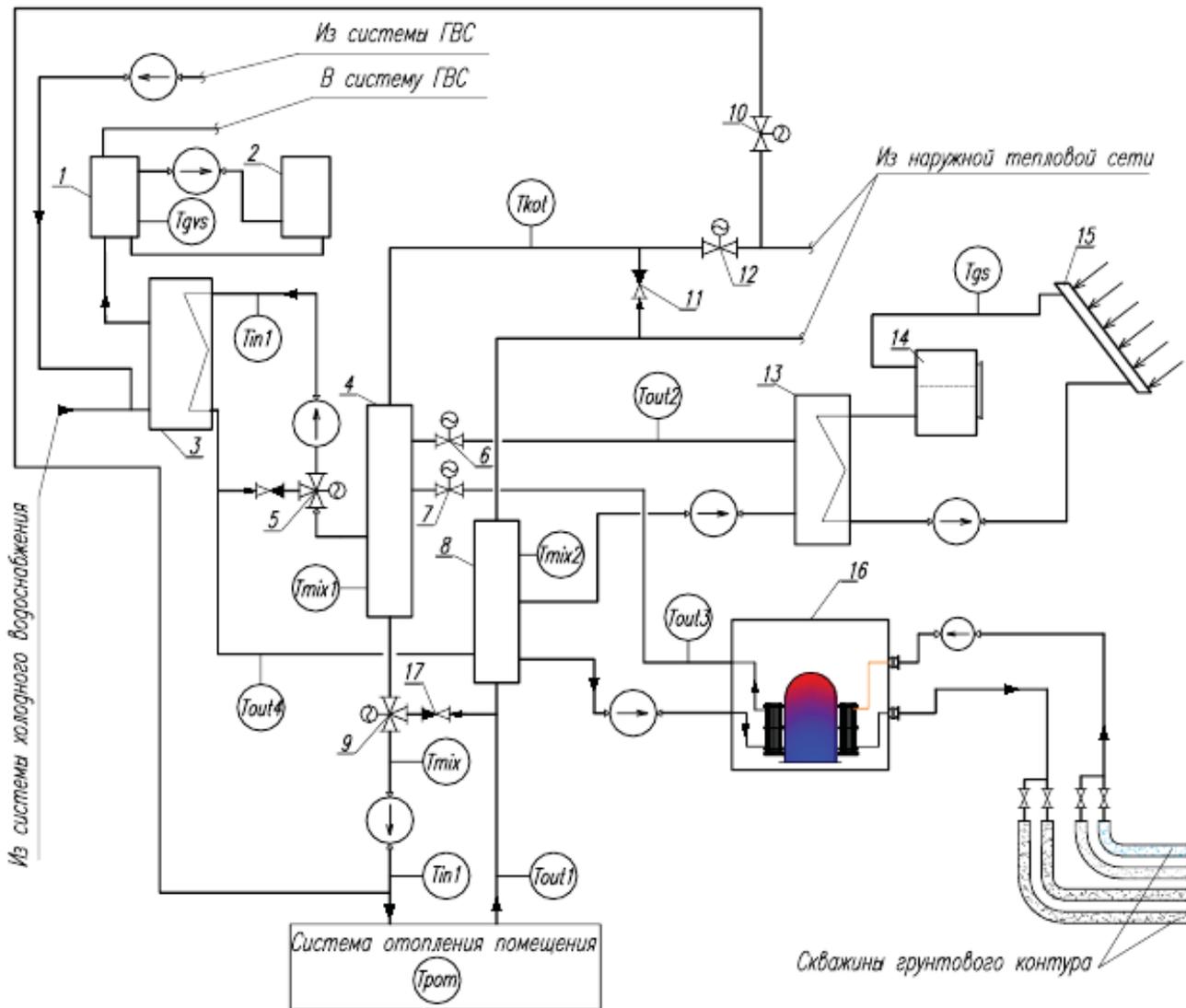
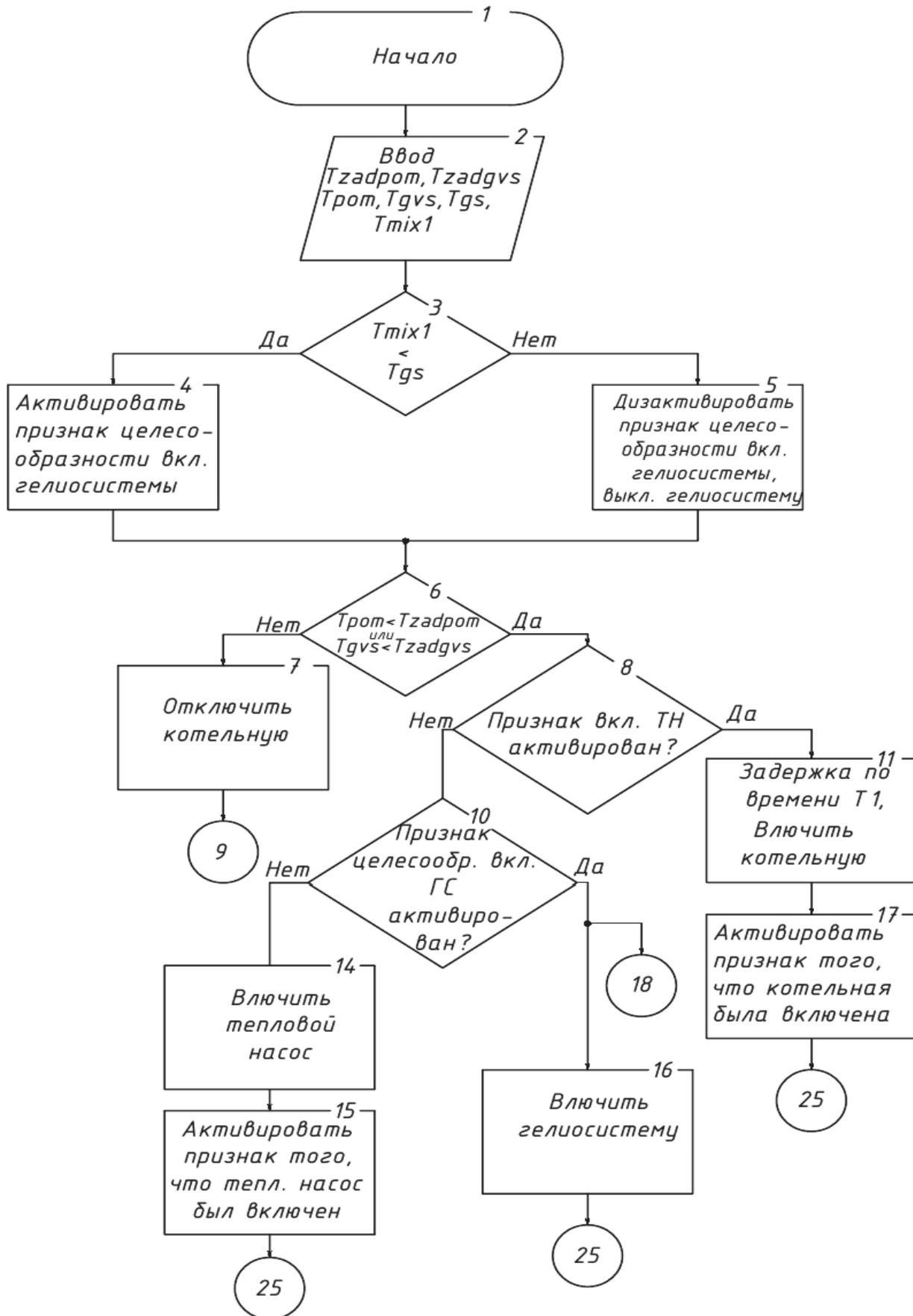


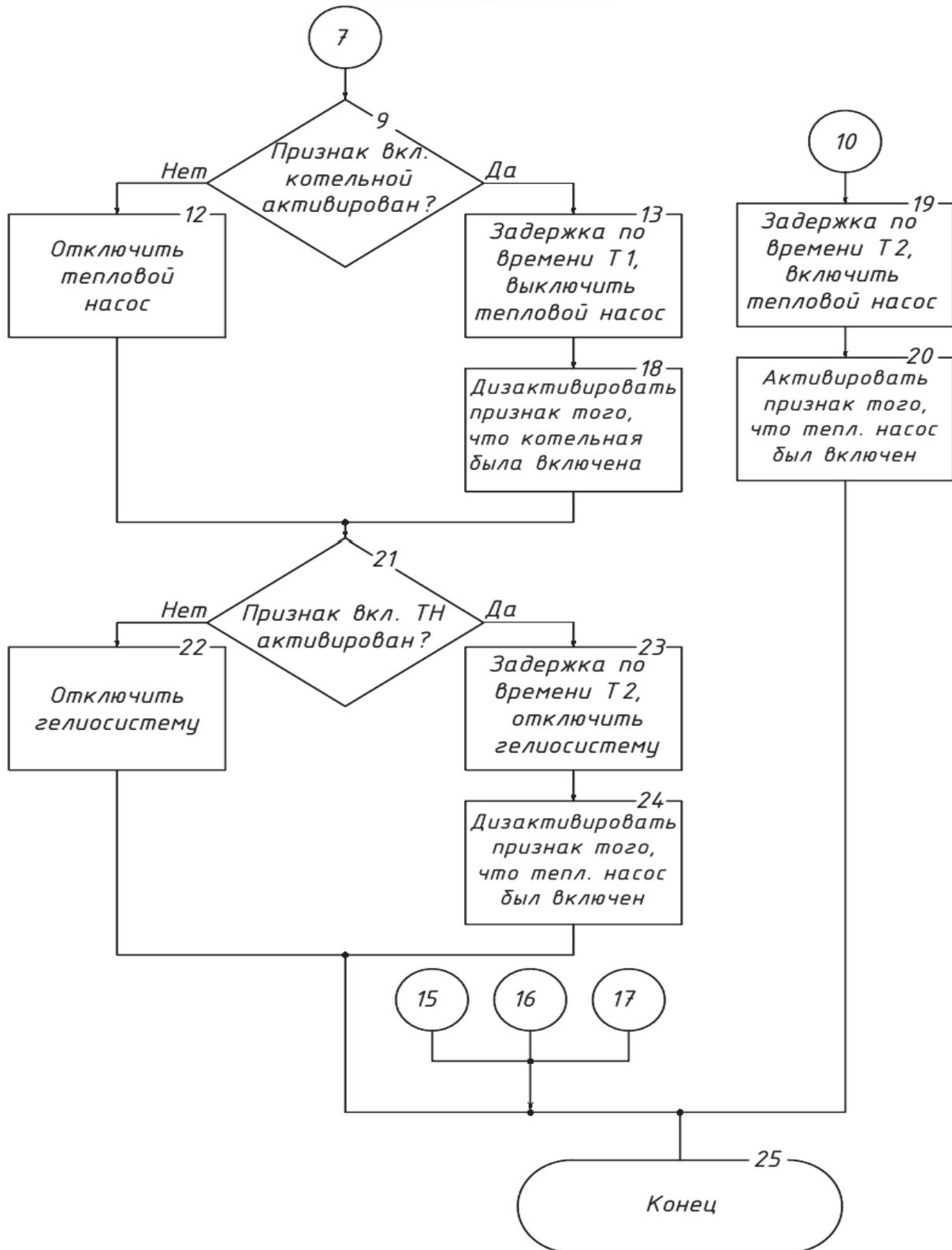
Рис. 2 – Структурная схема участка автоматизации

Для обеспечения надежности система ГВС и система отопления совмещены. Теплоноситель циркулирует по закрытой системе 3, 4, 8, 13, 16 и через теплообменники происходит нагрев или его охлаждение.

Системы отопления и горячего водоснабжения управляются трехходовыми клапанами 5, 9, которые регулируют температуру помещения и накопительных баков по заданному значению. В том случае, если температура в помещении достигла заданной, а температура горячего водоснабжения ниже заданной, то соответствующие источники в зависимости от температуры ГВС продолжают работать, а клапан помещения перекрывается и направляет в систему отопления теплоноситель с температурой  $T_{out1}$ . Тем самым температура помещения поддерживается по заданию, а температура ГВС повышается до заданной. Аналогичный процесс происходит в случае, если температура ГВС достигла заданной, а температура помещения ниже заданной. В случае аварии системы автоматизации напряжение с затвора 10 снимается и теплоноситель попадает к потребителю в обход участка теплового пункта.

Управление реализовано с помощью контроллера ОВЕН ПЛК 160м и SCADA-системы Webhmi со встроенным веб-сервисом. Блок-схема алгоритма управления изображена на рисунке 3. В соответствии с алгоритмом в момент, когда текущая температура становится меньше заданной, в работу вступают самые дешевые источники энергии. При дальнейшем невыполнении задания в работу вступают более дорогие источники. Самый дешевый источник тепловой энергии в системе - солнечный коллектор, а энергия теплового насоса дешевле, чем тепловая энергия от центрального теплоснабжения (таблица 1).





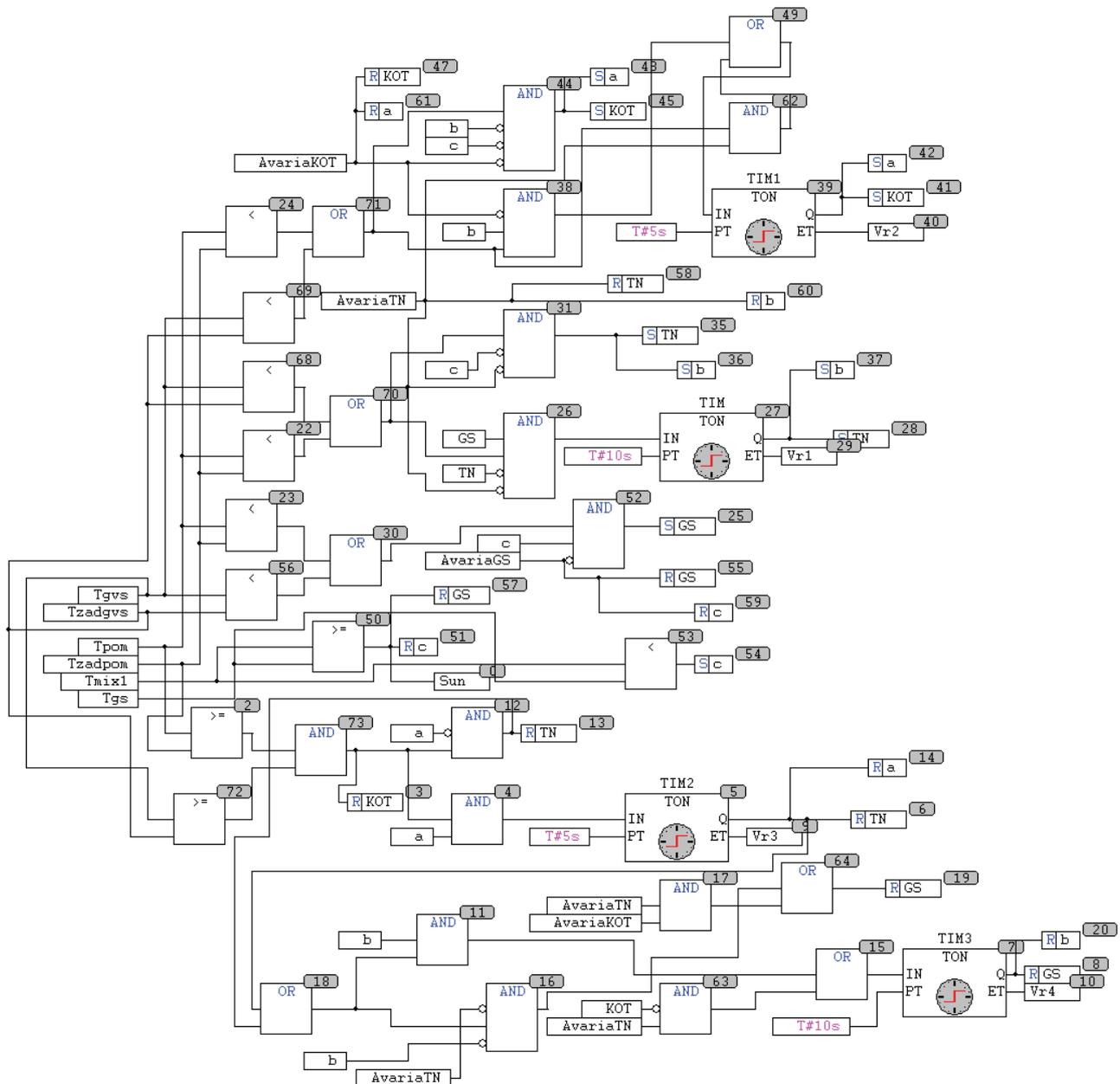
$T_{задпом}$  - заданная температура помещения;  
 $T_{задгvs}$  - заданная температура ГВС;  
 $T_{пом}, T_{гvs}, T_{gs}, T_{mix1}$  - соответствуют температурам на рисунке 2.

Рис. 3 – Блок-схема алгоритма управления системой отопления и ГВС

С помощью признаков включения источников обеспечивается каскадная работа системы.



Алгоритм реализован в среде программирования контроллера ОВЕН ПЛК 160М CoDeSys for Automation Alliance и показан на рисунке 4.



- AvariaGS* – авария контура солнечных коллекторов;
- AvariaTN* - авария контура теплового насоса;
- AvariaKOT* – авария оборудования подачи тепла с котельной;
- c* – признак целесообразности включения ГС;
- b* – признак того, что тепловой насос был включен;
- a* – признак того, что котельная была подключена;
- KOT* – переменная включения или отключения котельной (при *KOT*=TRUE задвижка котельной открыта);
- GS* - переменная включения или отключения ГС (при *GS*=TRUE задвижка контура ГС открыта и насосы контура включены);
- TN* - переменная включения или отключения ТН (при *TN*=TRUE задвижка контура ТН открыта и насосы контура включены);

**Рис. 4 – Реализация алгоритма в среде программирования контроллера ОВЕН ПЛК 160м**

Время переключения источников было установлено в результате моделирования и подтверждено экспериментально. В основу математической модели были положены уравнения теплового баланса для отопления помещения [5]. Для анализа алгоритма работы, подбора оптимальных настроек ПИ-регулятора система управления



и объект управления были промоделированы в среде CoDeSys for Automation Alliance, а для анализа динамики переходных процессов и подбора времени переключения источников энергии была использована схема регулирования температуры помещения потребителя в пакете Simulink [5].

**Внедрение в технологический процесс. Разработка АСУТП с помощью SCADA-системы.**

Результаты и наработки исследования были внедрены на реальном объекте, в дошкольном заведении «Детский сад №3 «Радуга»» г. Южный, Одесской области в ноябре 2016 года. Данные работы системы отображаются, архивируются, экспортируются в другие программы, такие как Excel или 1С, с помощью SCADA-системы WebHMI [7]. Среда этого устройства позволяет достаточно гибко и просто управлять техническими средствами автоматизации, благодаря несложному и функциональному интерфейсу создания мнемосхем и возможности создавать несложные скрипты на языке программирования Lua. Одним из достоинств устройства является его невысокая цена, что позволяет использовать его в бюджетных проектах. На рисунке 1 показана мнемосхема системы отопления и ГВС с отображением режимов работы и самых важных параметров для управления. На рисунке 5 изображены аварии системы и журнал предупреждений и аварий в реальном времени.

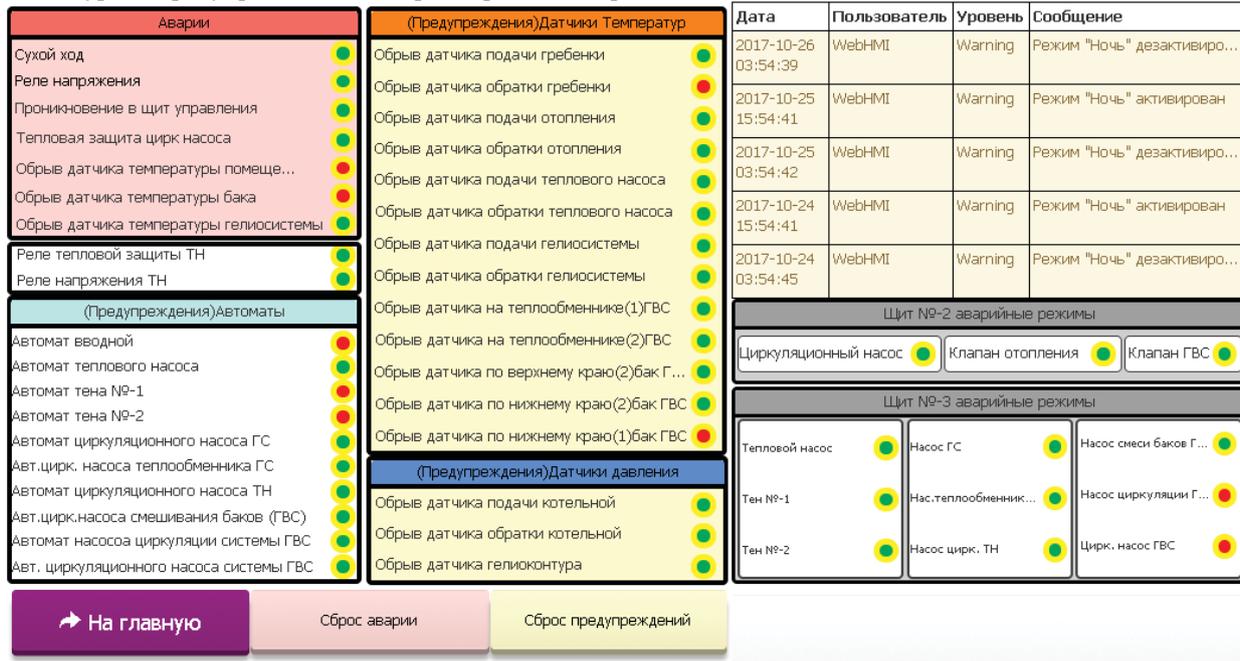


Рис. 5 – Текущие аварии, предупреждения системы и журнал аварий и предупреждений

На рисунке 6 показан исторический график переходных процессов и работа теплового насоса и котельной, полученный при эксплуатации системы автоматизации на коммунальном предприятии.

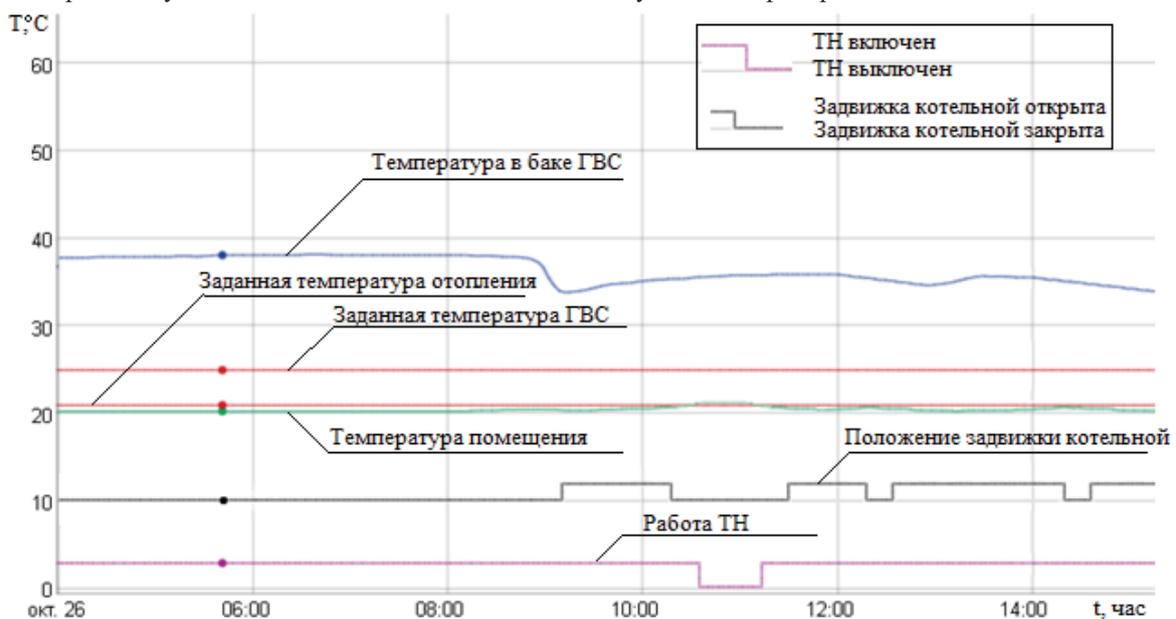


Рис. 6 – Исторический график переходных процессов и работа теплового насоса и котельной



Из рисунка 6 видно, что при совместной работе ТН и котельной даже без использования тепла от ГС, время включения котельной сокращается.

На рисунке 7 показан расход горячей воды на протяжении недели.

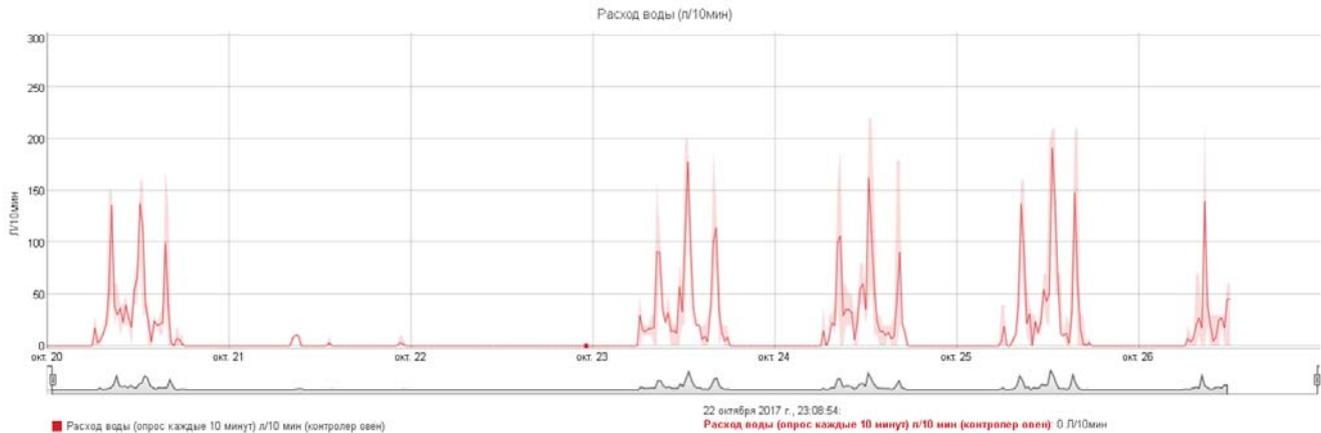


Рис. 7 - Расход горячей воды на протяжении недели

### Выводы.

В статье исследована возможность совместного использования ТН, ГС и централизованного источника тепловой энергии для отопления и ГВС. В ходе написания статьи была разработана вся необходимая техническая документация и программное обеспечение. В предложенном нами алгоритме совместной работы источников энергии каскадность обеспечивается задержкой во времени при включении и выключении источников энергии. Когда выполняется задание, первыми выключаются более дорогие источники энергии. Расчетные данные, данные моделирования и ожидаемые результаты экономичности процесса были подтверждены экспериментально на установке системы отопления и ГВС в дошкольном заведении «Детский сад №3 «Радуга»» г. Южный, Одесской области. За сезон 2016-2017 г. было сэкономлено на отоплении и ГВС 180 тыс. грн благодаря уменьшению потребления тепла от внешнего источника тепловой энергии за счет работы ТН и ГС, установке счетчиков воды, электрической и тепловой энергии, датчиков температуры в помещении, диспетчеризации данных. Дальнейшее развитие в данном направлении может привести к переходу от традиционных источников тепла к возобновляемым.

### Литература

- [1] Joshi, P. Carbone dioxide utilization: a comprehensive review [Text] / P. Joshi // Int. J. Chem. Sci. – 2014. – Vol.12, No.4. – P.1208-1220;
- [2] Рац, Г. И. Развитие альтернативных источников энергии в решении глобальных энергетических проблем [Текст] / Г. И. Рац, М.А. Мординова / Известия Байкальского государственного университета. – 2012. №. 2. – С. 132 – 136;
- [3] Directive 2001/80/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2001 on the limitation of emissions of certain pollutants into the air from large combustion plants // Official Journal of the European Communities.- 2001.- L 309, V.44.- P.1-21;
- [4] Муколянец, А. А. Энергоэффективность использования установки горячего водоснабжения на основе солнечного коллектора [Текст] / А. А. Муколянец, А. Р. Музафаров / CETERIS PARIBUS.- 2015. №. 2. – С. 8 – 12;
- [5] Тодорцев, Ю. К. Объектно-ориентированная модель системы теплоснабжения. Информационные модели [Текст] / Ю. К. Тодорцев, И. Н. Максименко / Труды Одесского политехнического университета.- 2005. Вып. 2(24).- С. 160 – 164;
- [6] Лунева, С. К. Эффективность применения тепловых насосов [Текст] / С. К. Лунева / Техничко-технологические проблемы сервиса.- 2015. №. 3(33). – С. 59 – 62;
- [7] Устройство WebHMI. – Днепропетровск: Distributed Data Systems, 2016. –[Электронный ресурс]. URL: <http://webhmi.com.ua/ru/> (дата обращения: 17.09.2017).

### References

- [1] P. Joshi, Carbone dioxide utilization: a comprehensive review, Int. J. Chem. Sci. no. 4, pp. 1208-1220;
- [2] G. I. Rats, “Razvitiye al'ternativnykh istochnikov energii v reshenii global'nykh energeticheskikh problem”, Izvestiya Baykal'skogo gosudarstvennogo universiteta, no. 2, pp. 132-136, 2012;
- [3] Directive 2001/80/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2001 on the limitation of emissions of certain pollutants into the air from large combustion plants, Official Journal of the European Communities, vol.44,



- pp. 1-21, 2001;
- [4] A. Mukolyants, “Energoeffektivnost' ispol'zovaniya ustanovki goryachego vodosnabzheniya na osnove solnechnogo kollektora”, CETERIS PARIBUS, no. 2, pp. 8-12, 2015;
- [5] Y. K. Todortsev, I. N. Maksimenko, “Ob'yektno-orientirovannaya model' sistemy teplosnabzheniya. Informatsionnyye modeli”, Trudy Odesskogo politekhnicheskogo universiteta, no. 2(24), pp. 160-164, 2005;
- [6] S. K. Luneva, “Effektivnost' primeneniya teplovykh nasosov”, Tekhniko-tehnologicheskiye problemy servisa, no. 3(33), pp. 59-62, 2015;
- [7] Ustroystvo WebHMI. - Dnepropetrovsk: Raspredeleennyye informatsionnyye sistemy, 2016. - [Elektronnyy resurs]. URL: <http://webhmi.com.ua/ru/> (data obrashcheniya: 17.09.2017).

УДК 681.51

## РАЗРАБОТКА СОВРЕМЕННОГО ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО ИНТЕРФЕЙСА В АСУТП НА ОСНОВЕ МЕЖДУНАРОДНЫХ СТАНДАРТОВ

А.Ф. Арабаджи<sup>1</sup>, А.А. Стопакевич<sup>2</sup>, А.А. Стопакевич<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Одесский национальный политехнический университет, Украина

<sup>3</sup> Одесская национальная академия связи, Украина

ORCID: <sup>1</sup>0000-0002-8057-2556, <sup>2</sup>0000-0002-8318-685, <sup>3</sup>0000-0003-1719-9071

E-mail: <sup>1</sup>alex05godoy@gmail.com, <sup>2</sup>stopakevich@opu.ua, <sup>3</sup>stopakevich@gmail.com

Copyright © 2017 by author and the journal “Automation technological and business - processes”.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



DOI: [10.15673/atbp.v10i4.819](https://doi.org/10.15673/atbp.v10i4.819)

**Аннотация:** Показана актуальность разработки промышленных человеко-машинных интерфейсов, поскольку с их неправильной организацией связано 35-58% ошибок операторов-технологов. Проведена разработка человеко-машинного интерфейса для ведения технологического процесса переработки попутного нефтяного газа с использованием рекомендаций стандарта ANSI/ISA-101.01-2015 и данных опытных исследований. Выбраны критерии эффективности ЧМИ – способность интерфейса минимизировать влияние таких особенностей как степень автоматизации, поддержка когнитивной деятельности, поддержка больших объемов данных, поддержка вторичной деятельности и навигации, виртуализации реальности при удобстве использования экранов ЧМИ для решения поставленных задач. Проведен проблемно-ориентированный анализ технологического процесса и выделены задачи, которые оператор должен решать с помощью интерфейса. Для выполнения этих задач разработаны экраны человеко-машинного интерфейса, которые соответствуют основным критериям ситуационной осведомленности.

**Abstract:** The relevance of the development of industrial human-machine interfaces is shown, since 35-58% of errors of process operators are associated with their incorrect organization. The development of a HMI for the associated petroleum gas processing technology was carried out using the recommendations of the ANSI/ISA-101.01-2015 standard and pilot studies data. The criteria for the effectiveness of HMI are selected - the ability of the interface to minimize the impact of such design problems as the degree of automation, support for cognitive activity, support for large amounts of data, support for secondary activity and navigation, and virtualization of reality when the HMI screens are used more conveniently for solving the tasks. A problem-oriented analysis of the technological process was carried out and tasks that should be solved with the help of the operator's interface were singled out. To fulfill these tasks, HMI screens have been developed that meet the basic criteria of situational awareness.

**Ключевые слова:** Человеко-машинный интерфейс, ЧМИ, взрывоопасное производство, переработка газа, ситуационная осведомленность, проблемы проектирования.