

ВВЕДЕНИЕ

Ресурсосбережение – рациональное использование ресурсов, система мер по его обеспечению. Основой ресурсосбережения является комплексное использование природных и материальных ресурсов, максимальное устранение потерь и нерациональных расходов.

Одним из важных критериев благосостояния населения, на сегодняшний день, остается наличие или отсутствие отдельной квартиры или дома на земле, но, при этом, развиваются тенденции к реализации нестандартных архитектурных решений, при строительстве индивидуального жилья. На Красноярском экономическом форуме, проходившем в апреле 2018 года, были представлены проекты молодых ученых СФУ, среди которых был представлен проект постройки куполообразных сооружений. Простой перенос строительных технологий в высокие широты неэффективен, целесообразна их «нордификация», для нашего случая – это архитектурная адаптация сооружений к условиям крайнего Севера. Сооружения куполообразной формы в условиях крайнего Севера наиболее эффективны с точки зрения аэродинамики, энергоэкономичности и рациональности [1].

Сооружения куполообразной формы для индивидуального жилищного строительства, так же актуальны для зон агломерационного развития (например, Дальний Восток).

На сегодняшний день остается актуальной проблема разработки систем управления ресурсосбережением для жилых строений различных архитектурных форм [2, 3], в целом, ориентированных на уменьшение энергетических затрат. В настоящий момент, в нашей стране и за рубежом, известно множество систем автоматизированного и автоматического управления ресурсосбережением для жилых помещений [4 – 17], но многие из них являются дорогостоящими и не универсальными.

Так же очевидным отрицательным моментом является то, что объекты управления (в том числе и купольные сооружения), являющиеся компонентами существующих систем управления ресурсосбережением, не имеют математических моделей для точного расчёта параметров оборудования таких объектов управления, при проектировании и оптимизации компонентов систем (объектов управления) в соответствии с геометрией помещения.

Цель работы: исследование объектов управления и разработка программно-аппаратного комплекса системы ресурсосбережения для помещения с куполообразной оболочкой.

Для достижения указанной цели в работе решаются следующие задачи:

1) выполняется анализ существующих методов управления ресурсосбережением структур с различными архитектурными формами, как объектов управления существующих и разрабатываемых систем;

2) разработка моделей, позволяющих обосновать энергоэффективность помещений с куполообразной оболочкой как объекта управления для разработки системы ресурсосбережения с определёнными целевыми параметрами:

- мощность теплоэнергетических источников системы управления;
- потребляемая мощность энергооборудования, кВт/час;

3) разрабатывается архитектура автоматизированной системы управления ресурсосбережением для предлагаемого объекта управления. Данная система включает в себя исполнительные устройства, управляющие нетрадиционными источниками (воздушный коллектор и низкотемпературный контур) тепловой энергии. Для наибольшей эффективности разрабатываемая архитектура системы реализуется распределенной;

4) разрабатываются алгоритмы функционирования с учетом выбранного объекта управления, базирующиеся на многофакторном анализе

алгоритмов управления исполнительными устройствами; разрабатывается специализированное программное обеспечение автоматизированной системы ресурсосбережения для объекта управления;

5) обеспечивается симуляция и эмуляция работы специализированной программы автоматизированной системой управления ресурсосбережением для сооружения с куполообразной оболочкой.

Научная новизна и практическая значимость диссертационной работы:

1) разработаны математические модели оболочек объектов управления, в качестве которых выступают классическая и куполообразная формы жилых помещений;

2) исследования, проведенные с помощью разработанных математических моделей, по средствам моделирования, доказали энергоэффективность куполообразного сооружения при сопоставимых поверхностях объекта моделирования по сравнению с классической формой;

3) разработана архитектура системы управления ресурсосбережением для объекта куполообразной формы, позволяющая уменьшить объем оборудования по сравнению с классическими решениями;

4) для оптимизации управления исполнительными устройствами системы, применен аппарат многофакторного анализа, который позволил обеспечить надежность функционирования исполнительного оборудования и экономию тепло-, энергоресурсов;

5) разработано специализированное программное обеспечение управления системой ресурсосбережения, адаптированное под объект с куполообразной оболочкой, с уменьшенной сложностью программного кода по сравнению с системой для классической оболочки.

1 Анализ задания на выпускную квалификационную работу

В рамках выпускной квалификационной работы был проведен анализ уже существующих аналогов систем в России за рубежом.

С целью выявления существующих аналогов архитектур автоматизированных систем управления, ориентированных на ресурсосбережение и их программного обеспечения, был проведен обзор научных публикаций, анализ российских и зарубежных патентов, за период с 2000 по 2016 год для выявления определенных целевых параметров систем управления.

Одним из рассмотренных аналогов в рамках выполненных исследований является: «Система отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, основанная на использовании природно-климатических факторов» [4]. Авторами была разработана система отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха основанной на климатических условиях.

При разработке системы были рассмотрены температурные особенности природно-климатической зоны. Предложена схема отопительно-вентиляционной системы с кондиционированием, основанная на использовании температурно-климатических особенностей. Предложена технологическая схема отопления, вентиляции и кондиционирования, обладающая достаточной гибкостью. Схема включает в себя как традиционные источники тепловой энергии (газовый нагреватель) так и нетрадиционные (солнечный водонагреватель и тепловой аккумулятор). Основное отличие системы заключается в том, что она не зависит от центрального теплоснабжения. Охлаждение воздуха в системе кондиционирования происходит за счет аккумулятированного в зимнее время холода. Аккумулятирование происходит за счет замораживания и охлаждения льда. Энергия для этого процесса черпается

из окружающего пространства, низкая температура которого обусловлена климатом данной местности. Описан режим работы схемы в различные времена года и указано, что при реализации подобной схемы, возможно повышение коэффициента полезного действия, как за счет использования зимнего холода, так и за счет летнего тепла. Определены основные особенности системы и перспективы ее автоматизации и развития.

Еще одним аналогом может служить: «Система управления энергоресурсами» [5]. Автором была разработана система управления энергоресурсами, включающая объект управления, блок определения расходов энергоносителей, блок определения сквозных энергозатрат, блок определения производительности, при этом выходы объекта управления присоединены к входам блока определения расходов энергоносителей, блока определения сквозных энергозатрат и блока определения производительности, а также включающая последовательно соединенные блок управления оператора и блок автоматизированного управления объектом, при этом выход последнего подсоединен к входу объекта управления, отличающаяся тем, что дополнительно снабжена блоками определения приращений расходов энергоносителей, сквозных энергозатрат и производительности, блоком динамической энергоемкости по расходам энергоносителей, блоком динамической энергоемкости и сквозным энергозатратам, блоком оценки объекта управления по расходу энергоносителей и блоком оценки объекта управления по сквозным энергозатратам, блоком монитора-советчика оператора, блоком задатчика времени приращений, при этом выход блока задатчика времени приращений подключен к входам блока определения расходов энергоносителей, блока определения сквозных энергозатрат и блока определения производительности, выходы блока определения расходов энергоносителей, блока определения сквозных энергозатрат и

блока определения производительности подключены к входам блоков соответствующих приращений, выходы блока приращения расходов энергоносителей и блока приращения производительности присоединены к входу блока динамической энергоемкости по расходам энергоносителей, выходы блока приращения сквозных энергозатрат и приращения производительности подключены к входу блока динамической энергоемкости по сквозным энергозатратам, выходы блока динамической энергоемкости по расходу энергоносителей, блока динамической энергоемкости по сквозным энергозатратам присоединены соответственно к входам блока оценки объекта управления по расходам энергоносителей и блока оценки объекта управления по сквозным энергозатратам, выходы блоков оценки объекта управления по расходам энергоносителей и сквозным энергозатратам присоединены к входу блока монитора - советчика оператора, выход которого присоединен к входу блока автоматизированного управления объектом.

Еще один аналог – «Централизованная система рекуперации тепла быстровозводимых сооружений» [6]. Автором была разработана централизованная система рекуперации тепла быстровозводимых сооружений, состоящая из канала принудительной приточной вентиляции, канала принудительной вытяжной вентиляции, отличающаяся тем, что в качестве теплообменного элемента с устройством по утилизации избыточной тепловой энергии для водоподготовки системы горячего водоснабжения используется конструкция быстровозводимого сооружения.

Четвертый аналог – «Система автоматического регулирования отопления здания с автоматическим задатчиком» [7]. Автором была разработана система автоматического регулирования отопления здания от городской теплосети, содержащая погружной датчик температуры теплоносителя, датчик

температуры наружного воздуха и регулирующую арматуру с исполнительными механизмами, отличающаяся тем, что в состав системы введен автоматический задатчик для формирования необходимой температуры горячей воды в контуре отопления, с одним из входов которого соединен датчик температуры наружного воздуха, а на другой вход поступает сигнал, задающий температуру в помещении, при этом автоматический задатчик состоит из последовательно включенных первого сумматора, выполненного с возможностью инверсии одного из поступивших на него сигналов, блока усиления и второго сумматора, в котором складывается сигнал с выхода усилителя и сигнал, задающий температуру в помещении.

В шестом патенте – «Домашняя система удаленного мониторинга» – автор описывает домашнюю систему удаленного мониторинга счетчика коммунальных услуг и домашних устройств, расположенных в жилище, и связи с удаленным хост-компьютером, имеющим программы, выполняющие предписанные функции. Система включает в себя домашний блок управления, имеющий приемник для получения сигнала состояния датчика от домашнего устройства, передатчик для передачи информации на домашнее устройство и модуль управления. Блок считывания служебного прибора прикреплен к стандартному расходомеру (например, электрическому счетчику) и включает в себя сенсорную систему для считывания данных потребления с измерителя полезности; интерфейсный модуль для передачи данных потребления; и модуль управления для хранения данных потребления отсчетчика коммунальных услуг и для управления передачей данных потребления интерфейсным модулем. Блок считывания счетчика полезности находится в контакте с концентратором, который включает в себя передатчик для передачи сигнала запроса информации концентратора на интерфейсный модуль считывающего

устройства счетчика услуг, приемник для приема данных потребления из интерфейсного модуля считывания счетчика коммунальных услуг в ответ на сигнал запроса опроса концентратора, модуль интерфейса концентратора для добавления данных потребления в пакет автоматического считывания счетчика, имеющий адрес хоста-получателя, и прием передатчик для передачи пакета на главный компьютер [8].

В качестве аналога программного продукта для расчета определённых целевых параметров, метрик, представлена среда проектирования Revit. Данный программный продукт предназначен для проектирования различного вида инженерных систем и расчета параметров, таких как теплопотери. К сожалению, данная среда не является удобной, так как в ней имеется возможность рассчитать ограниченное количество метрик. Так же отрицательным моментом является то, что данное программное не является универсальным и не рассчитывает данные параметры для строений специфической формы.

Вывод к главе 1

Данный анализ существующих аналогов системы автоматизированного управления и программного обеспечения направленного на расчет целевых параметров, метрик, показал, что в настоящее время тема ресурсосбережения является актуальной. Разработчиками были представлены модели автоматизированных систем, ориентированных на ресурсосбережение в жилых помещениях, но приведенные выше системы автоматизированного управления не являются универсальными и могут не подходить для жилых сооружений с перспективной формой (таблица 1). Разрабатываемая в данной работе система автоматизированного управления ресурсосбережением должна быть приспособлена для таких помещений.

Таблица 1 – Сравнительный анализ существующих аналогов

Аналог 1	Аналог 2	Аналог 3	Аналог 4	Аналог 5
Система не универсальна, не приспособлена для сооружений специфической формы, отсутствуют модели позволяющие рассчитать целевые параметры.	Система не универсальна, отсутствуют модели позволяющие рассчитать целевые параметры, не приспособлен а для жилых помещений.	Система не универсальна, не приспособлена для сооружений специфической формы, отсутствуют модели позволяющих рассчитать целевые параметры.	Система не универсальна, не приспособлен а для сооружений специфической формы, отсутствуют модели позволяющие рассчитать целевые параметры.	Система не универсальна, не приспособлен а для сооружений специфической формы, отсутствуют модели позволяющие рассчитать целевые параметры.

2 Разработка моделей помещений для анализа энергоэффективности

Цель работы: моделирование объектов управления для обоснования необходимости последующей разработки программно-аппаратной системы управления ресурсосбережением, включающую нетрадиционные источники тепловой энергии (воздушный коллектор и низкотемпературный контур) и позволяющей уменьшить ресурсозатраты при эксплуатации жилых помещений куполообразной формы.

Куполообразное сооружение является привлекательным для создания автоматизированной системы управления энергоресурсами, так как имеет ряд преимуществ:

- наименьшая площадь поверхности среди всех фигур одинакового объема;
- купол имеет минимальные потери тепла и равномерное распределение тепла внутри;
- обеспечивается уменьшение затрат энергии на обогрев в зимнее время и охлаждение в летнее время при наличии воздушных коллекторов в структуре купола;
- снижаются затраты на освещение помещения при применении прозрачных материалов в структуре купола;
- более эффективно используются тепловые потоки внутри купольного сооружения, исключается застой нагретого воздуха в верхней (потолочной части помещения) по сравнению с потоками в помещении классического типа.

Для доказательства данных утверждений разработаем математические модели оболочек жилых помещений куполообразной и классической формы с использованием параметрического (для куполообразной формы) и векторного

(для классической формы) подходов построения геометрических фигур, с последующим сравнением энергоэффективности оболочек:

1) Построение классической формы (параллелепипеда) оболочки жилого помещения в общем виде описывается формулой [18]:

$$P = (f, g, h, j), \quad (1)$$

Где f, g, h, j – векторы для построения ребер параллелепипеда.

2) Построение куполообразной формы оболочки жилого помещения описывается системой уравнений [19]:

$$x = R \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta; \quad (2)$$

$$y = R \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta; \quad (3)$$

$$z = R \cdot \cos \alpha, \quad (4)$$

где α и β – углы необходимые для вычисления косинуса и синуса при построении полусферы.

Существует подход, реализующий численные методы векторных вычислений, позволяющих во много раз сократить объем вычислений и адаптировать, для этой цели, классические модели оболочек жилых помещений. Результатом трансформации классических формул, в модели, для векторных вычислений, является предложенная модель, обеспечивающая векторные вычисления для куба. Такую модель целесообразно применять для объектов в метрике оболочек, описываемых декартовой системой координат. Система формул (модель) обеспечивающая вышеназванный подход (1):

$$Point(x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2) = \begin{matrix} x_1 & x_2 \\ y_1 & y_2; \\ z_1 & z_2 \end{matrix} \quad (5)$$

$$Piped(P, Q) = \begin{matrix} P_0, Q_0, Q_0, P_0, P_0, P_0, Q_0, Q_0, P_0, P_0, Q_0, Q_0, Q_0, Q_0, P_0, P_0 \\ P_1, P_1, Q_1, Q_1, P_1, P_1, P_1, Q_1, Q_1, P_1, P_1, P_1, Q_1, Q_1, Q_1, Q_1 \\ P_2, P_2, P_2, P_2, P_2, Q_2, Q_2, Q_2, Q_2, Q_2, Q_2, P_2, P_2, Q_2, Q_2, P_2 \end{matrix} \quad (6)$$

Существует так же параметрический подход, обеспечивающий возможность расчета в метрике тригонометрических преобразований для полярных систем координат[19]. Предложенная модель, система формул (2,3,4), для параметрического подхода выглядит следующим образом:

$$X(\alpha, \beta) = \begin{cases} R \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta \\ R \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta \\ R \cdot \cos \alpha \end{cases} \quad (7)$$

С целью использования результатов моделирования необходимо выбрать соответствующие среды моделирования.

2.1 Выбор среды моделирования

Для выбора среды разработки, и следующей разработки модели, произведем сравнительный анализ сред математического расчета и моделирования, таковыми являются MatLab, MathCAD, AutoCAD Autodesk, Autodesk Revit (Таблица 2).

Для разработки моделей оболочек помещений требуется среда позволяющая строить двух- и трехмерные гистограммы, двухмерные графики в декартовых и полярных координатах, трехмерные графики поверхностей, линии уровня поверхностей, изображения векторных полей, пространственные кривые. Программа используется в сложных проектах, чтобы визуализировать результаты математического моделирования путем использования распределенных вычислений и традиционных языков программирования [20].

Таковыми функциями обладает среда математического расчета и моделирования MatLab, но очевидным отрицательным моментом является меньшая направленность для решения инженерных задач.

Так же необходимой функцией выбираемой среды – наличие графического интерфейса, ориентированного на человека и отвечающего за представление математической модели в виде, понятном широкому кругу специалистов.

Таким интерфейсом обладают среды моделирования AutoCAD и Revit Autodesk, но их недостатком является то, что эти среды моделирования не имеют математического ядра, берущего на себя основную вычислительную нагрузку, и, в цикле, согласно заданной программе, руководствуясь готовностью аргументов, а в редких спорных случаях (появление которых всегда можно избежать) приоритетностью математических операций, обеспечивает исполнение потоков математических функций;

Таблица 2 – Сравнительный анализ сред математического расчета

Программный продукт \ Критерий	MatLab	MathCAD	AutoCAD Autodesk	Autodesk Revit
Арифметические выражения	+	+	-	-
Построение графиков	+	+	-	-
Решение уравнений	+	+	-	-
Программирование	+/-	+	-	+
Направленность на решение инженерных задач	+/-	+	+	+
Моделирование	+	+	+	+

Проанализировав возможности среды моделирования, можно сделать вывод, что среда моделирования MathCAD имеет большую направленность для решения инженерных задач, что имеет преимущество, при решении данной задачи, перед другими аналогичными средами моделирования.

MathCAD – программное средство, среда для выполнения разнообразных математических и технических расчетов. Предоставляет инструменты для работы с формулами, числами, графиками и текстами. В среде доступны более сотни операторов и логических функций, предназначены для численного и символьного решения математических задач различной сложности [21].

2.2 Построение трехмерных графиков в выбранной среде моделирования на базе предложенных моделей оболочек

Построение модели оболочки жилого помещения классической формы производится при помощи векторного контекста MathCAD, из отрезков можно составить любой каркас, в том числе, и параллелепипеда. Располагаем его стороны параллельными осям координат, а сам параллелепипед зададим двумя диагонально противоположными вершинами P и Q [22].

Чтобы MathCAD провёл видимые оси через начало координат, определяем вспомогательные функции: Ox , Oy , Oz . Размер осей зависит от значения переменной a , показывающей границы области, которую нужно отобразить, одинаковые по всем трём измерениям. При расчетах качестве примера положим высоту длину и ширину параллелепипеда равными 8.

Один из возможных способов построения объемных фигур, в данном случае полусферы, состоит в следующем. Необходимо сформировать прямоугольную таблицу, номера ячеек по горизонтали, будут значениями переменной α . Номера ячеек по вертикали будут значениями переменной β . Построение фигуры производится функций CreateMesh [22]. Где α и β – углы

необходимые для вычисления функций косинуса и синуса при построении полусферы, в данном случае, углы будут равны $\frac{3\pi}{4}, \frac{-3\pi}{4}$. Для построения замкнутой фигуры задаем значение переменной, при использовании функции CreateMash, равной $-\pi$.

2.3 Разработка моделей помещений в среде моделирования Mathcad

С целью сравнительного анализа эффективности разрабатываемой системы управления, построим модели оболочек помещений с классической и куполообразной формой. Построение модели оболочки жилого помещения классической формы производится при помощи векторного контекста MathCAD, из отрезков можно составить любой каркас, в том числе, и параллелепипеда. Располагаем его стороны параллельными осям координат, а сам параллелепипед зададим двумя диагонально противоположными вершинами P и Q .

Чтобы MathCAD провёл видимые оси через начало координат, определяем вспомогательные функции: Ox , Oy , Oz . Размер осей зависит от значения переменной a , показывающей границы области, которую нужно отобразить, одинаковые по всем трём измерениям.

Построение модели оболочки жилого помещения классической формы при помощи выбранной среды моделирования MathCAD, представлено на рисунке 3. В качестве примера положим высоту длину и ширину параллелепипеда равными 8.

Результаты моделирования по векторной модели вычисления представлены. Для визуализации распределения тепла в помещении классического типа используем уравнение Пуассона с нулевыми граничными условиями. В Mathcad решение ищется на плоской квадратной области, состоящей из $(m+1) \times (m+1)$ точек. Поэтому граничные условия должны

быть определены пользователем для всех четырех сторон упомянутого квадрата. Самый простой вариант — это нулевые граничные условия, т. е. постоянная температура по всему периметру расчетной области. В таком случае можно использовать встроенную функцию *multigrid* (A) [23]. Построение данной функции показано на рисунке 3.

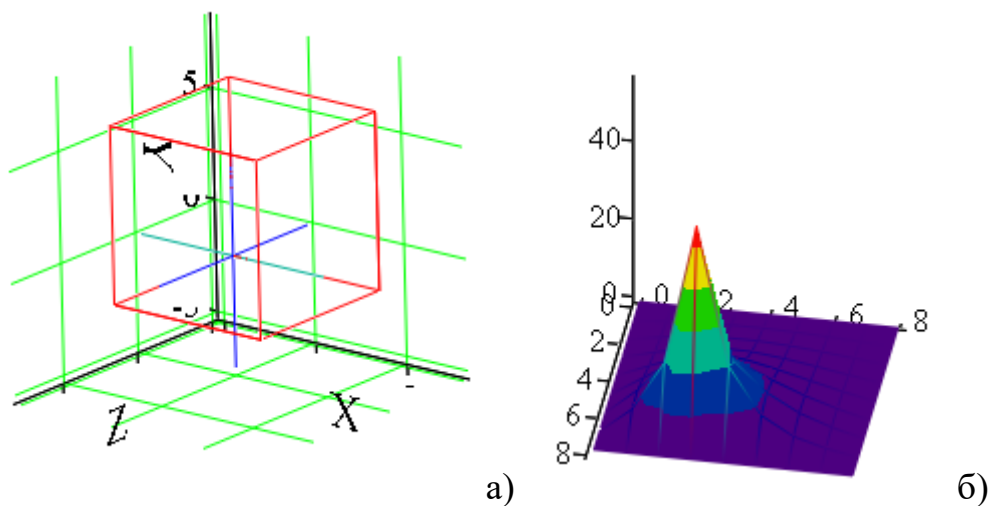


Рисунок 3 – результаты моделирования по векторной модели вычисления (а) и построение распределения тепла при помощи уравнения Пуассона (б)

Результаты моделирования по параметрической модели (куполообразная оболочка) представлены на рисунке 4.

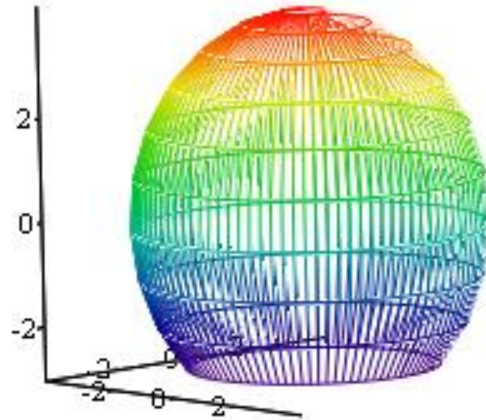


Рисунок 4 – результаты моделирования по векторной модели вычисления

2.4 Расчет теплотерь помещений

С целью сравнения энергоэффективности помещений классической формы и куполообразной оболочкой, рассчитаем теплотери для каждого вида сооружений [28 – 30]. При расчете теплотерь основные потери тепла происходят через стены помещения. Для расчета нужно знать коэффициент теплопроводности наружного и внутреннего материала, из которого построен дом, толщину стены здания, также важна средняя температура наружного воздуха. Основная формула:

$$Q = S \cdot \frac{\Delta T}{R}, \quad (8)$$

где ΔT – разница температуры снаружи и внутреннего оптимального значения;

S – площадь стен;

R – тепловое сопротивление стен, которое, в свою очередь, рассчитывается по формуле:

$$R = \frac{B}{K}, \quad (9)$$

где B – толщина материала;

K – коэффициент теплопроводности.

Так же для расчета теплопотерь здания понадобятся следующие значения: λl – коэффициент теплопроводности основных стройматериалов, Вт/м*К; t_{vn} – температура внутри здания; t_{nar} – температура наружного воздуха.

Для более точного анализа энергоэффективности производятся несколько вычислений для каждого типа строения, в соответствии СНиП 23-02-2003 (СП 50.13330.2012). "Тепловая защита зданий" [26] (Таблица 3.1, Таблица 3.2).

С целью проведения анализа введем параметры, по которым будет проводиться исследование, такие как теплопотери, а так же значения, которые будут одинаковы для каждой модели оболочки жилого помещения, такие как высота помещения и длина стен. Расчет целевых параметров в среде моделирования MathCAD представлен в приложении А.

2.5 Результаты расчетов целевых параметров

Таблица 2.1 – Вычисление теплопотерь для классического сооружения

№	Материал	Длина стен, м	Высота строения, м	Толщина материала, м	Площадь стен, м ²	Теплопотери, кВт
1.	Каркасная стена	8,00	2,50	0,20	208,00	4,20*10 ⁴
2.	Каркасная стена	14,50	3,00	0,20	594,50	1,20*10 ⁵
3.	Стекло	20,00	10,00	0,04	1,60*10 ³	6,40*10 ⁵
4.	Дерево	10,00	1,50	0,40	260,00	4,00*10 ⁴
5.	Стекло	10,00	8,00	0,04	520,00	2,10*10 ⁵

Таблица 2.2 – Вычисление теплопотерь для куполообразного сооружения

№	Материал	Длина стен, м	Высота строения, м	Толщина материала, м	Площадь стен, м ²	Теплопотери, кВт
1.	Каркасная стена	8,00	2,50	0,20	125,70	2,50*10 ⁴
2.	Каркасная стена	14,50	3,00	0,20	273,30	5,50*10 ⁴
3.	Стекло	20,00	10,00	0,04	1,26*10 ³	5,02*10 ⁵
4.	Дерево	10,00	1,50	0,40	219,90	3,30*10 ⁴
5.	Стекло	10,00	8,00	0,04	502,70	2,01*10 ⁵

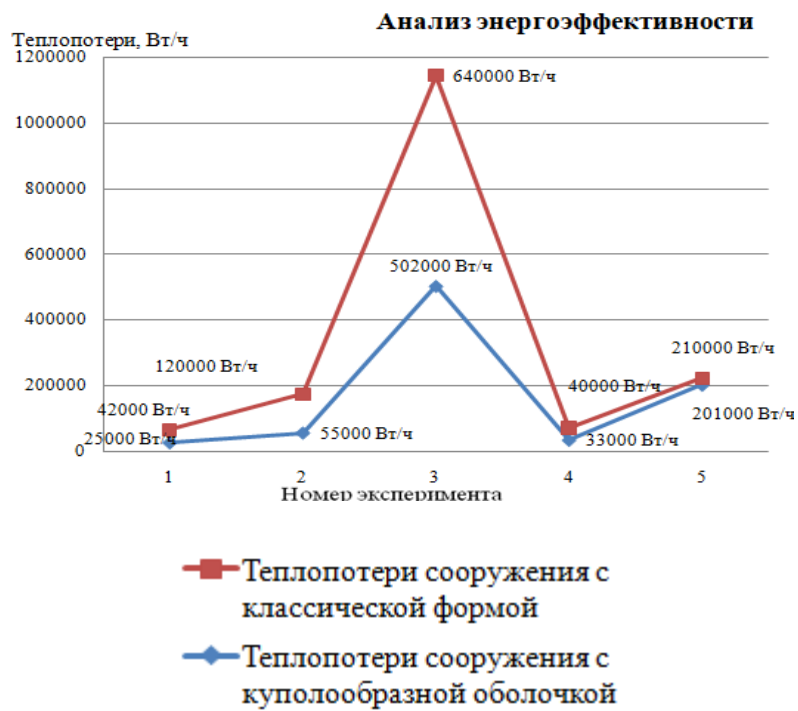


Рисунок 5 – Анализ энергоэффективности

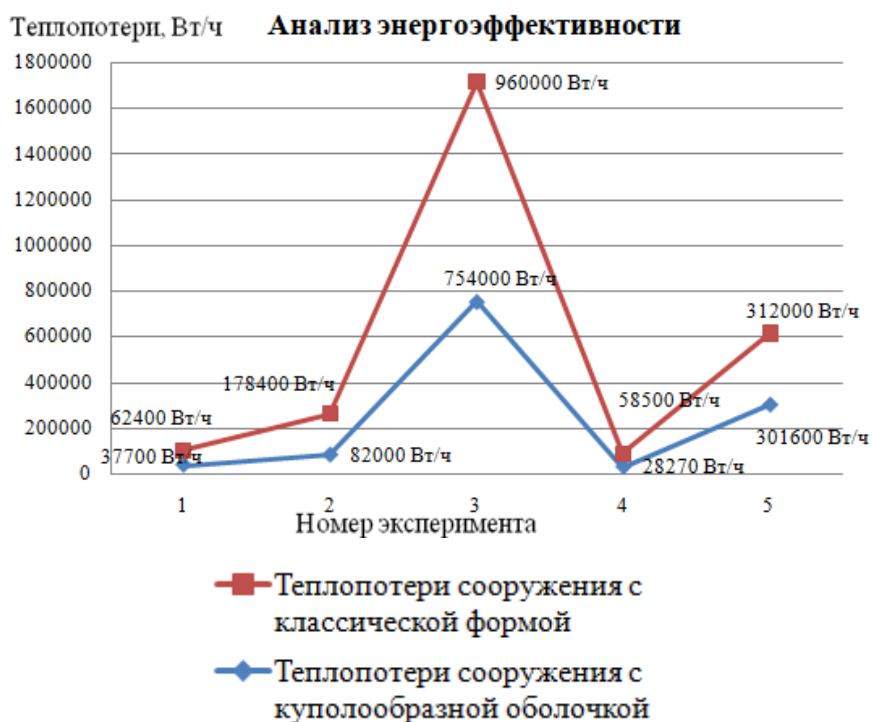


Рисунок 6 – Анализ энергоэффективности

Вывод к главе 2

Были разработаны математические модели оболочек жилых помещений классической и куполообразной форм, как объектов управления. Разработанные модели позволили провести анализ энергоэффективности объектов управления, показавший, что жилое помещение, имеющее куполообразную форму, имеет большую энергоэффективность (в 1,6 раза – пиковое значение, в 1,3 раза – среднее значение) за счет того, что, при сопоставимой высоте помещения и длине стен, имеет меньшую площадь. Таким образом, при сниженных теплопотерях, можно уменьшить количество оборудования в системе и уменьшить сложность программного кода, так же это позволяет обеспечить дополнительную экономию тепловой энергии – 40%. Это показывает, что помещение с куполообразной формой имеет преимущество перед сооружением с классической формой при проектировании автоматизированной системы ресурсосбережения, позволяя уменьшить количество энергопотребителей. Кроме того, с учетом оптимизации оборудования для управления тепловыми потоками внутри сооружения куполообразной формы, коэффициент энергоэффективности таких сооружений будет еще выше.

3 Разработка архитектуры и программного обеспечения автоматизированной системы управления ресурсосбережением для сооружения с куполообразной оболочкой

На основе анализа моделей оболочек жилых помещений различной формы, разработанных в главе 2, разработаем архитектуру автоматизированной системы управления ресурсосбережением для сооружения с куполообразной оболочкой. Данная система включает в себя нетрадиционные источники тепловой энергии (воздушный коллектор и низкотемпературный контур). Для наибольшей эффективности системы сделаем разрабатываемую систему распределенной. В целях, повышения надежности и оптимального управления питанием электронасосов тепловых контуров, обеспечивающих уменьшение потребления электроэнергии, низкотемпературный контур целесообразно разделить на 4 блока.

3.1 Разработка информационной модели автоматизированной системы управления ресурсосбережения для сооружения с куполообразной оболочкой

Перечислим аппаратные ресурсы в структуре разрабатываемой системы управления ресурсосбережения:

1. Автоматизированное рабочее место оператора (ПК). С функциональной точки зрения автоматизированная система управления (АСУ) представляет собой программно-аппаратный комплекс, осуществляющий во взаимодействии с человеком ввод, обработку и отображение данных, характеризующих состояние технологического процесса (ТП), а также, при необходимости, выработку управляющего воздействия для управления ТП.

2. Преобразователь интерфейса предназначен для взаимного преобразования сигналов интерфейсов USB и RS-232C. Передает автоматически информацию от ПК к устройству и обратно. Включение преобразователя в режим «отправление» информации происходит при передаче сигнала низкого уровня ($A-B < -0,2 \text{ В}$). При передаче сигнала высокого уровня, преобразователь включается на короткое время, до появления на выходе сигнала низкого уровня ($A-B > 0,2 \text{ В}$). Дальнейшее удержание этого уровня обеспечивается внутренними «подтягивающими» резисторами. Остальное время преобразователь работает в режиме приема информации.

3. Контроллер системы осуществляет регулирование на основании пропорционально – интегрально – дифференциального закона, что позволяет достичь оптимальных переходных процессов запуска и остановки оборудования, быстрой и адекватной реакции системы на внешние изменения. Контроллер системы в режиме собирает, обрабатывает информацию от датчиков процесса, отображает её на монитор автоматизированного рабочего места оператора в виде мнемосхемы. Мнемосхема оперативно информирует оператора обо всех технологических параметрах в режиме реального времени. На основании собранных данных контроллер АСУ вырабатывает сигналы управления для исполнительных устройств. На основе анализа собранных данных, контроллер системы распознаёт выход параметров за пределы программных установок и передает информацию о состоянии системы, в том числе и «Авария», собственнику жилья на мобильное устройство, либо автоматически блокирует нежелательное развитие ситуации.

4. Преобразователи термоэлектрические (датчики температуры). Датчики собирают информацию о температуре в строении и отправляют сигнал на контроллер, отвечающий за температуру внутри помещения и вне помещения, преобразовывая измеряемые параметры температуры в код для последующего принятия решения.

5. Датчики (преобразователи) давления. Датчики давления собирают информацию о давлении в блоках низкотемпературного контура и в воздушном коллекторе, и отправляют сигнал на контроллер, отвечающий за подсистемы системы находящиеся за пределами строения.

6. Воздушный коллектор выполняет одновременно две функции, нагревает воздух, используя его циркуляцию в теле массива трубок и одновременно аккумулирует тепловую энергию в помещении. Воздушное отопление при помощи солнечных коллекторов не может в нашей климатической зоне полностью заменить основное отопление, но оно будет очень хорошим подспорьем даже в морозные зимние солнечные дни. Кроме того, коллекторные трубки, выполненные из прозрачного материала могут обеспечить дополнительное естественное освещение, что также дополнительно снижает энергозатраты на освещение и упрощает процесс управления освещением.

7. Низкотемпературный контур—это наиболее эффективный из известных методов преобразования низкотемпературного энергетического приповерхностного слоя пространства земли с помощью теплового насоса в высокотемпературный контур пространства жилого помещения. Они обычно доставляют в разы больше тепловой энергии в дом, чем потребляют от источника электричества сами тепловые насосы.

Рабочей жидкостью в низкотемпературном тепловом контуре, является незамерзающая до -40°C жидкость, например, антифриз. Поскольку низкотемпературный контур в земле полностью изолирован от высокотемпературного контура в помещении, он не выделяет угарный газ CO_2 и никакие другие ядовитые газы. (По сравнению с часто используемой сегодня удаленной электрической станцией, если она работает на ископаемом топливе). Тепловые насосы «грунт—воздух» с достаточно глубоко

размещенными «внешними» змеевиками могут хорошо работать даже в местах, где зимы суровые. На глубине нескольких метров под землей температура постоянная и составляет по крайней мере от 4 °С до 10 °С в большинстве местностей.

3.2 Аппаратные средства системы управления ресурсосбережением для сооружения с куполообразной оболочкой

На основе проведенного анализа в главе 2 и разработанной информационной модели произведем выбор устройств для реализации системы управления ресурсосбережением в структуре сооружений с куполообразной формой, к таким устройствам относятся:

- преобразователь интерфейса Ethernet (кол-во: 1);
- программируемый логический контроллер ОВЕН ПЛК100 (кол-во: 2);
- GSM/GPRS модем(кол-во: 1);
- преобразователи термоэлектрические (датчики температуры) (кол-во: 2);
- одноканальный блок питания (кол-во: 2);
- тепловые насосы по3 кВт (низкотемпературный контур) (кол-во: 4);
- воздушный коллектор (кол-во: 1);
- датчики (преобразователи) давления (кол-во: 4)
- тахометр (кол-во:1).

3.3 Разработка структурной схемы системы управления ресурсосбережением сооружения с куполообразной оболочкой

На основе разработанной информационной модели и проведенного выбора аппаратных средств для реализации автоматизированной системы разработаем структурную схему системы управления ресурсосбережением сооружения с куполообразной оболочкой (рисунок 7).

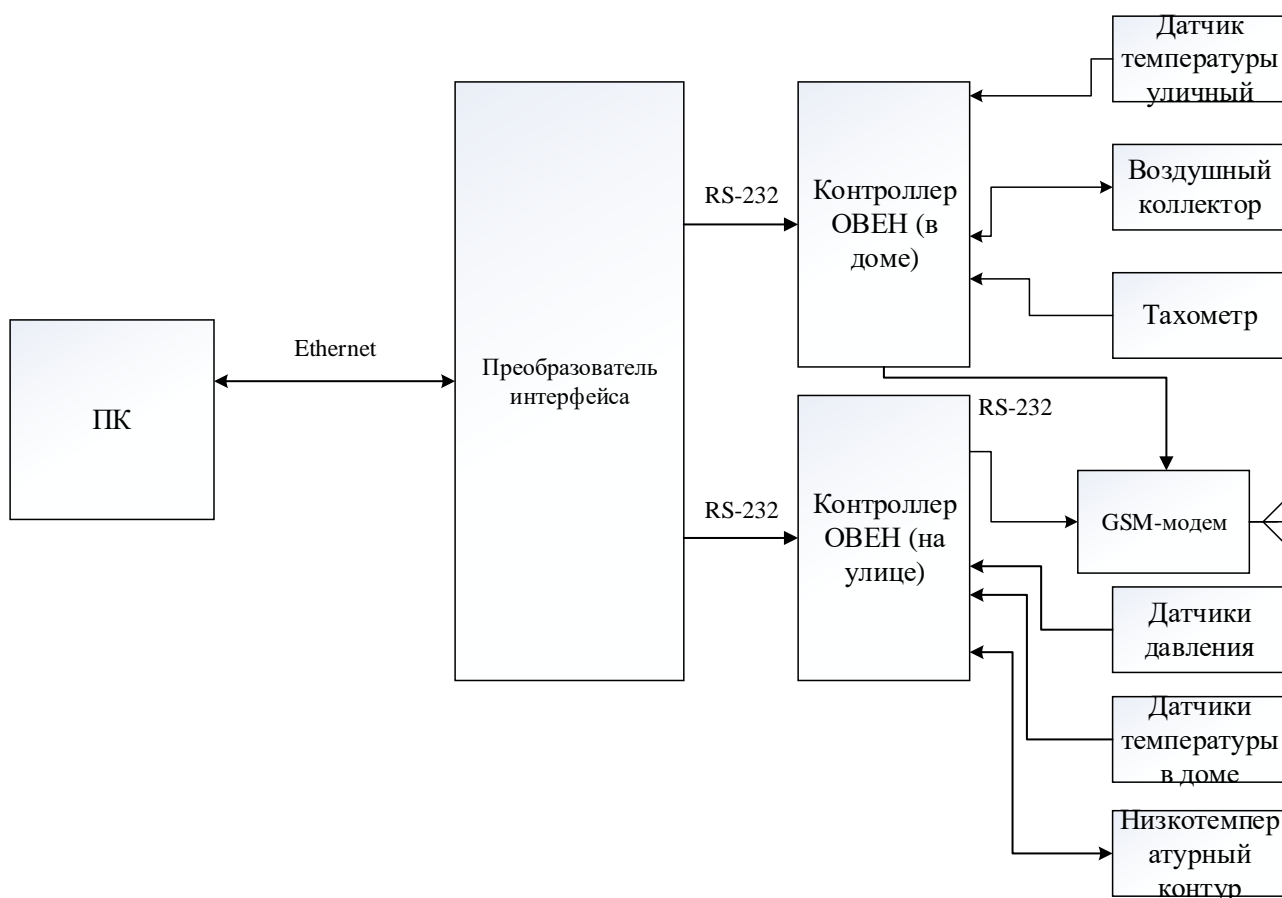


Рисунок 7 – Структурная схема системы управления ресурсосбережением купольного сооружения

3.4 Разработка функциональной схемы системы управления ресурсосбережением сооружения с куполообразной оболочкой

На основе разработанной структурной схемы автоматизированной системы управления ресурсосбережением сооружения с куполообразной оболочкой, разработаем функциональную схему системы (рисунок 8).

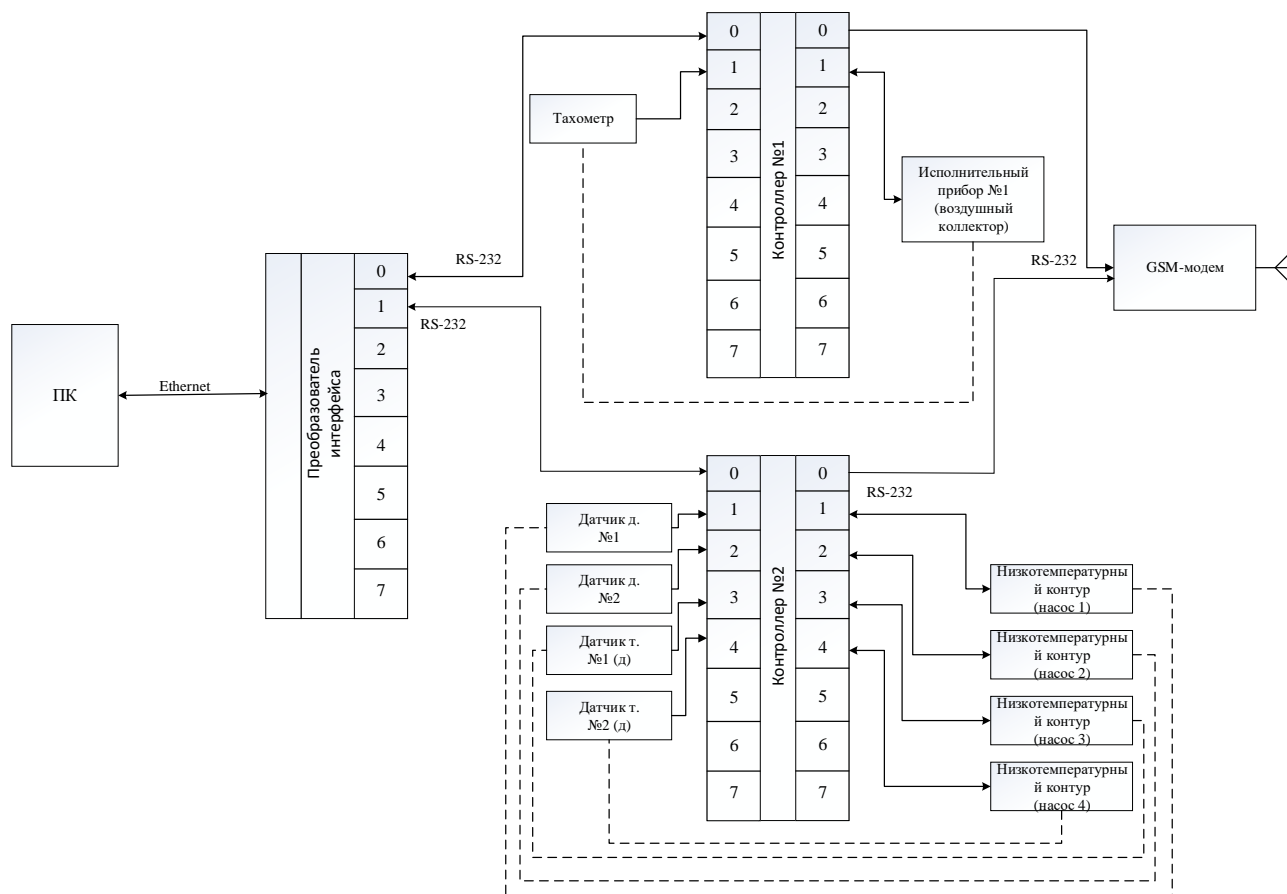


Рисунок 8 – Функциональная схема системы управления ресурсосбережением купольного сооружения

3.5 Разработка алгоритмов работы автоматизированной системы управления ресурсосбережением

Для предложенного выше архитектурного решения о разделении низкотемпературного контура на блоки возникает задача оптимизации блочного представления подсистем в структуре автоматизированной системы управления ресурсосбережением для сооружения с куполообразной оболочкой. Для этого используем аппарат многокритериального анализа.

В основе метода многокритериального анализа теплового режима положена математическая модель нестационарного переноса теплоты.

По температурному полю определяется средняя температура на внутренней поверхности конструкции t_{si}^{av} и вычисляется средняя плотность теплового потока через конструкцию q_{av} по формуле:

$$q_{av} = \alpha_{si} * (t_{int} - t_{si}^{av}), \quad (10)$$

где α_{si} – расчетный коэффициент теплообмена у внутренней поверхности;

t_{int} – расчетная температура внутреннего воздуха.

Расчетное приведенное сопротивление теплопередаче конструкции R_{tot} определяется по формуле:

$$R_{tot} = \frac{t_{int} - t_{ext}}{q_{av}}, \quad (11)$$

где t_{int} – расчетная температура внутреннего воздуха;

t_{ext} – расчетная температура наружного воздуха;

q_{av} – средняя плотность теплового потока через конструкцию [19 – 21].

Результаты расчета теплового режима исполнительных приборов

отвечающих за отопление в теплый и холодный период года, полученные на основании температурного поля, приведены в таблице 3. В целях снижения ресурсозатрат направленных на питание электронасосов, разделим низкотемпературный контур на 4 блока.

Таблица 4 – Результаты расчета теплового режима исполнительных приборов отвечающих за отопление в теплый и холодный период года

Наименование показателя	Обозначение	Значение показателя для исполнительных приборов	
		Воздушный коллектор	Низкотемпературный контур
Температура на внутренней поверхности:			4 блока (мощность 3 кВт)
минимальная	$t_{si}^{min}, ^\circ\text{C}$	15,3	17,3
максимальная	$t_{si}^{max}, ^\circ\text{C}$	16,1	17,7
средняя	$t_{si}^{av}, ^\circ\text{C}$	15,9	17,5
Средняя плотность теплового потока	$q_{av}, ^\circ\text{C}$	36,3	31,5
Расчетное приведенное сопротивление теплопередаче	$R_{tot}, \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$	1,4	1,6

Анализ данных таблицы 4 показывает, что мощности низкотемпературного контура должно хватить для обогрева помещения с куполообразной оболочкой в холодный и теплый период времени, так как уровень теплозащиты конструкции ниже нормируемого ($R_{tot} = 3,1 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$). Таким

же образом проведем анализ данных, полученных для воздушного коллектора. Мощность данного исполнительного устройства позволяет отапливать пространство в теплое время года, но при понижении температуры воздуха на улице до 10 градусов, для отопления помещения необходимо включить один блок низкотемпературного контура.

С учетом проведенного многокритериального анализа скорректируем алгоритм работы каналов исполнительных устройств в системе позволяющих оптимизировать управление исполнительных устройств (низкотемпературный контур, воздушный коллектор):

1. Процесс инициализации. Данный процесс представляет собой запуск программы. В регистры заносятся начальные данные.

2. «Опрос» датчиков контроллера №1:

а) Анализ работоспособности теплового коллектора.

3. «Опрос» датчиков контроллера №2:

а) Анализ работоспособности низкотемпературного контура.

б) Анализ температуры в помещении с температурой ($temp_p$),

введенной на панели оператора ($temp$):

- если $temp > temp_p$;

- $temp_n < 10$ – включение одного блока низкотемпературного контура;

- $temp_n < 0$ – выключение всех блоков низкотемпературного контура.

4. Если выходит из строя одно из исполнительных устройств системе, работа передается дополнительному насосу.

5. Если происходит поломка одного из приборов:

а) прибор подает соответствующий сигнал на контроллер.

б) отправляется сообщение пользователю (через GSM-модем).

Блок-схемы алгоритмов представлены на рисунках 9 – 19.

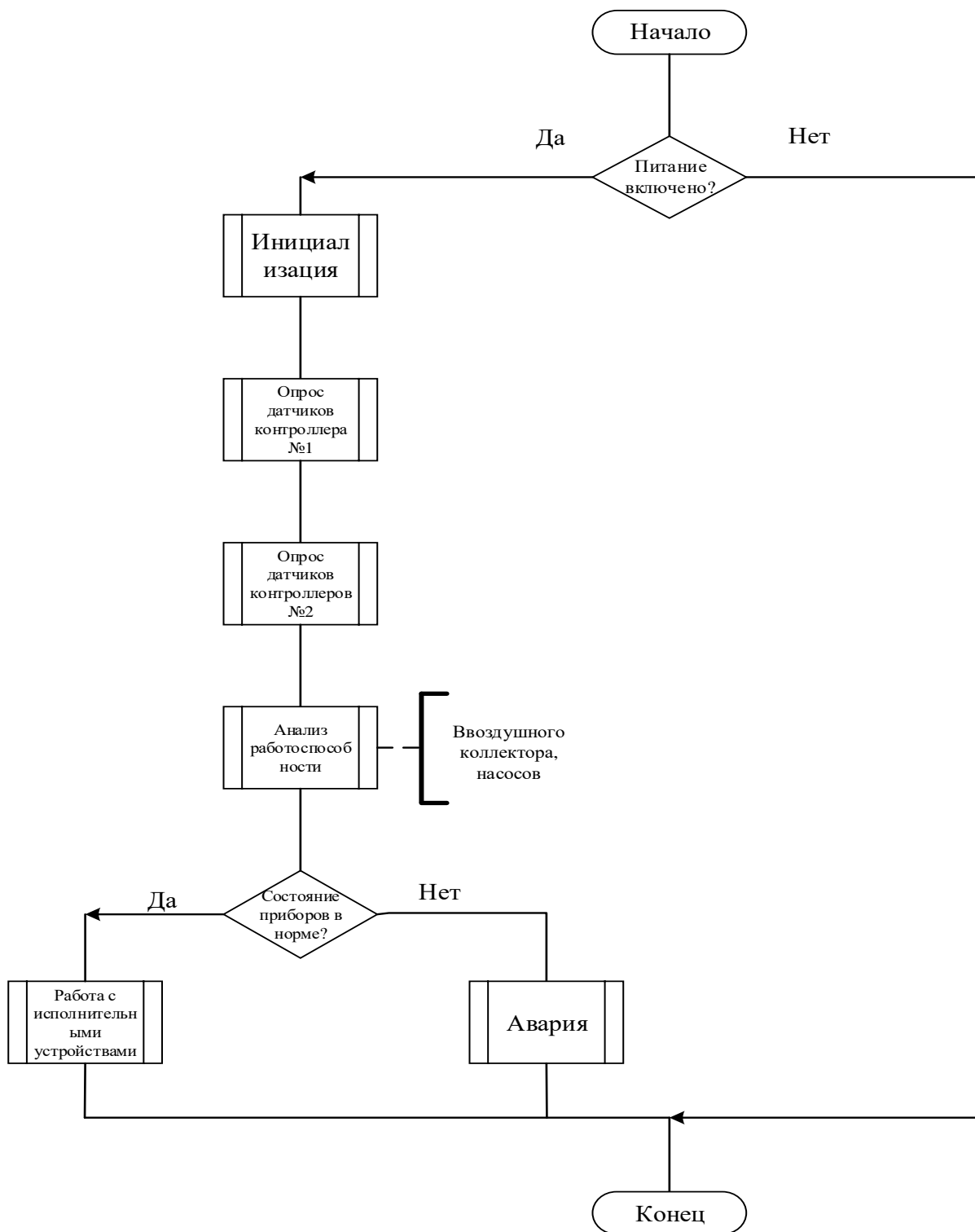


Рисунок 9 – Основной алгоритм работы

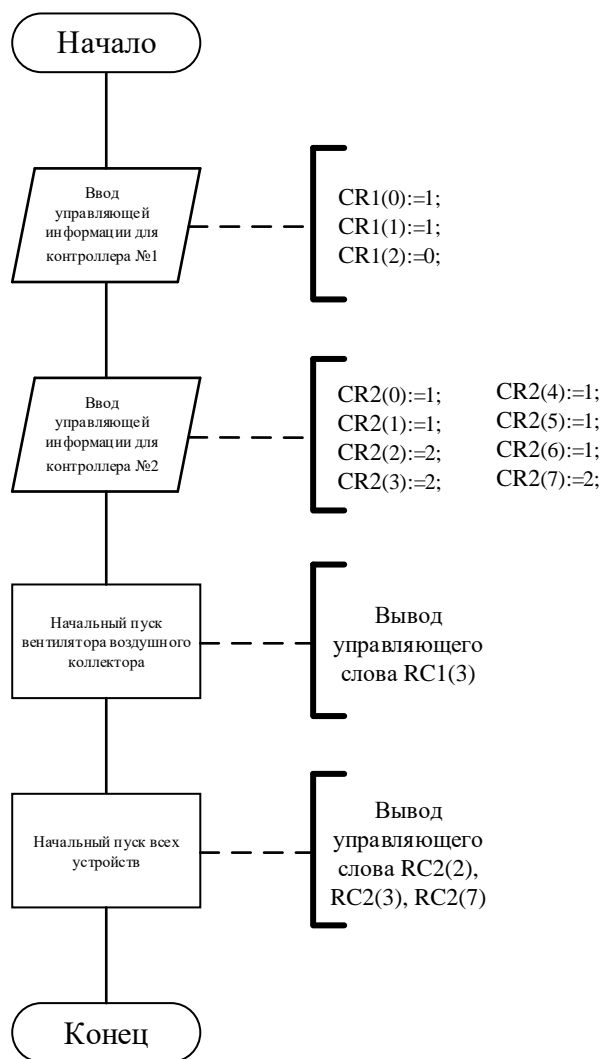


Рисунок 10 –Подпрограмма «Инициализация»

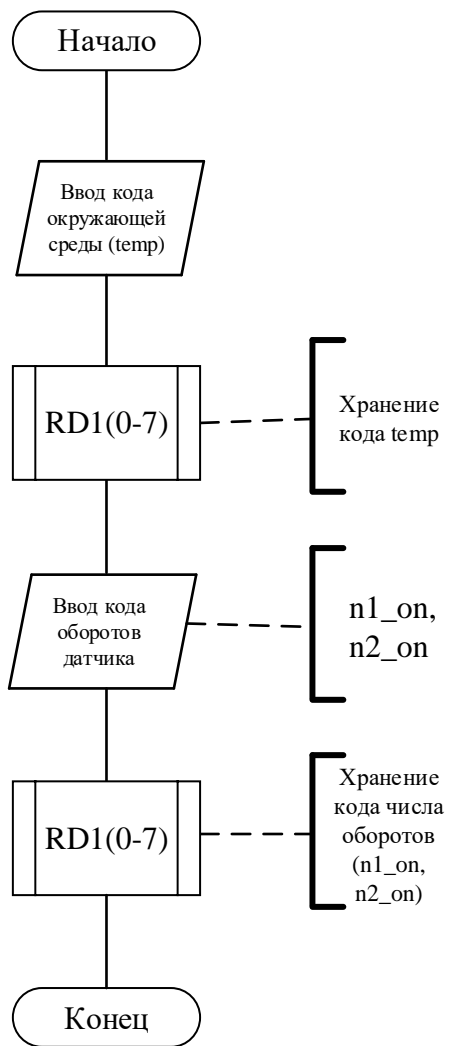


Рисунок 11 –Подпрограмма «Опрос датчиков контроллером №1»

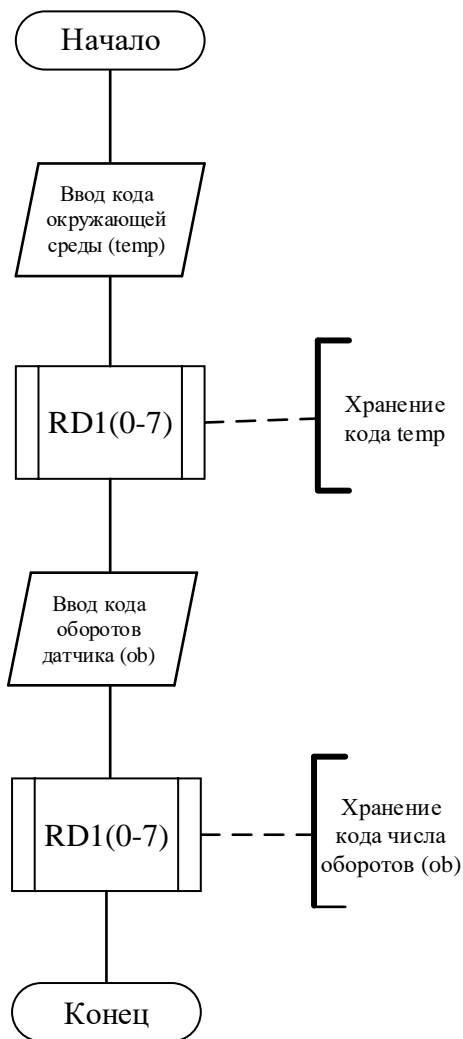


Рисунок 12 – Подпрограмма «Опрос датчиков контроллером №2»

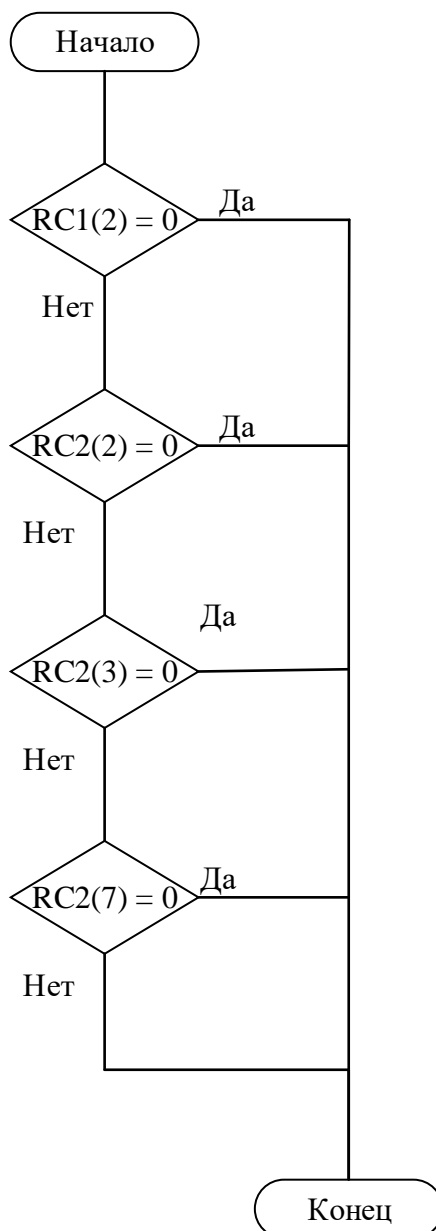


Рисунок 13 – Подпрограмма «Анализ работоспособности исполнительных устройств»

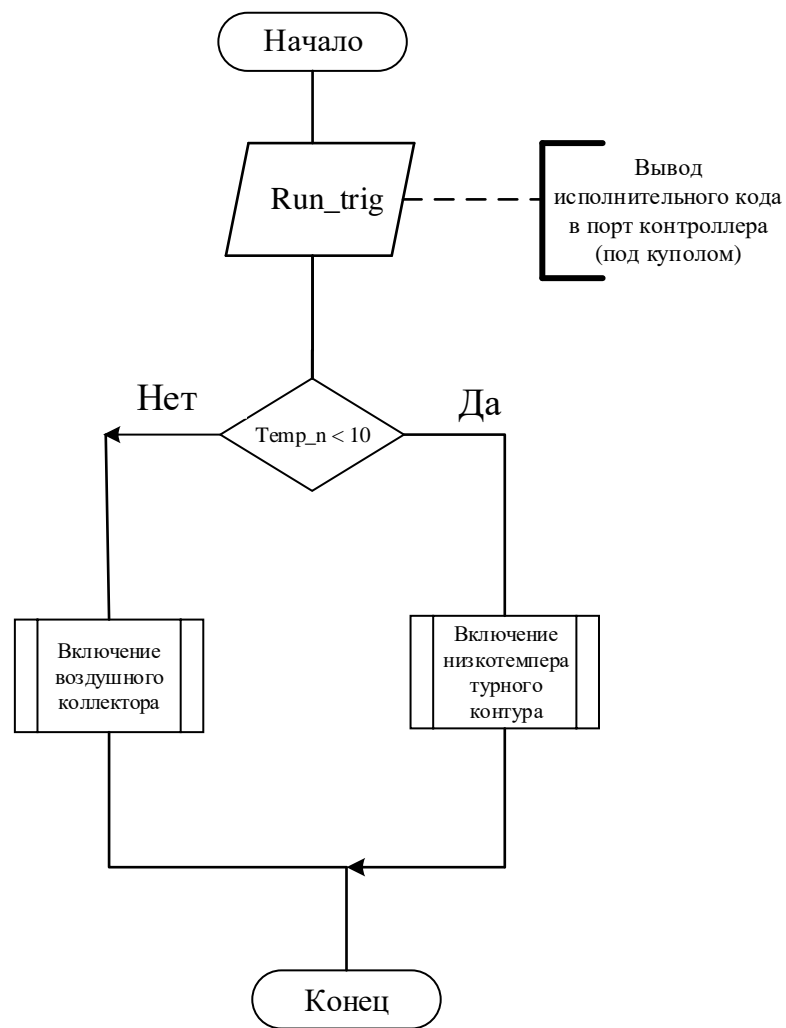


Рисунок 14 – Подпрограмма «Работа с исполнительными устройства»

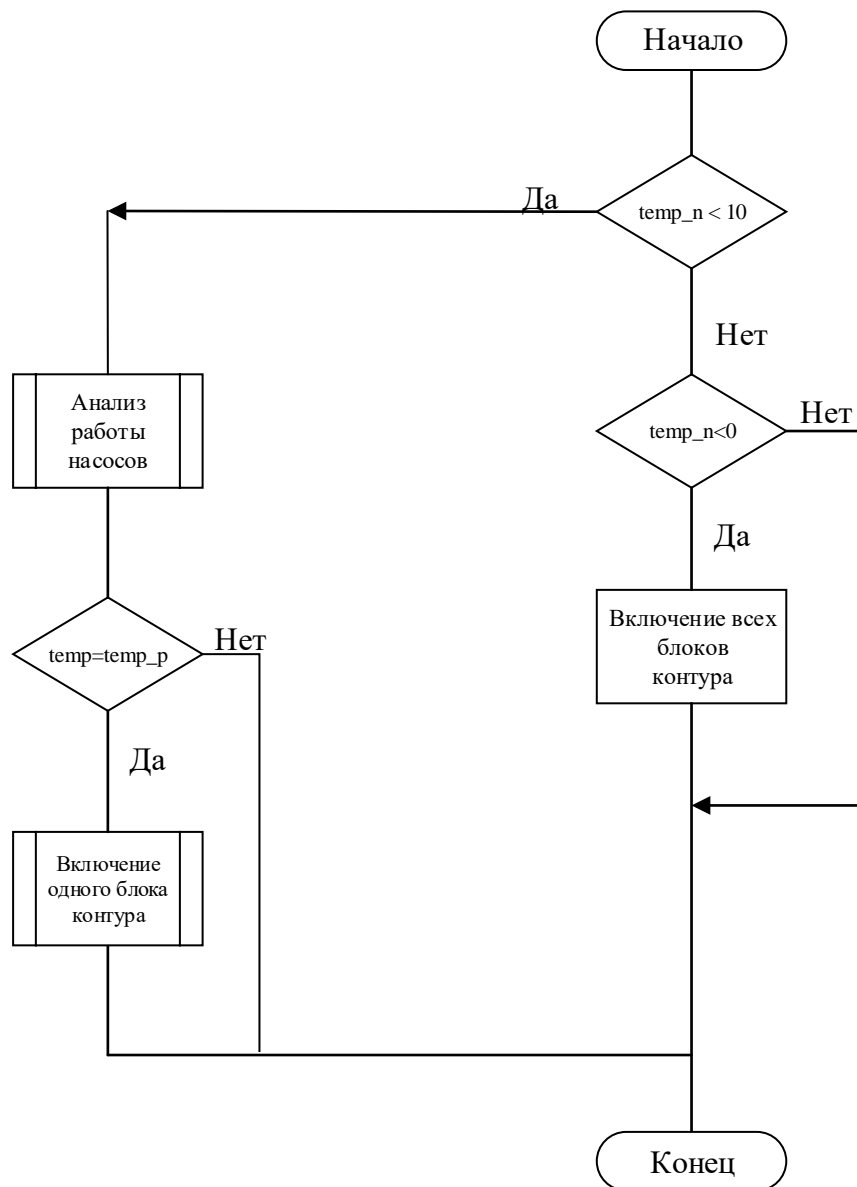


Рисунок 15 – Включение низкотемпературного контура

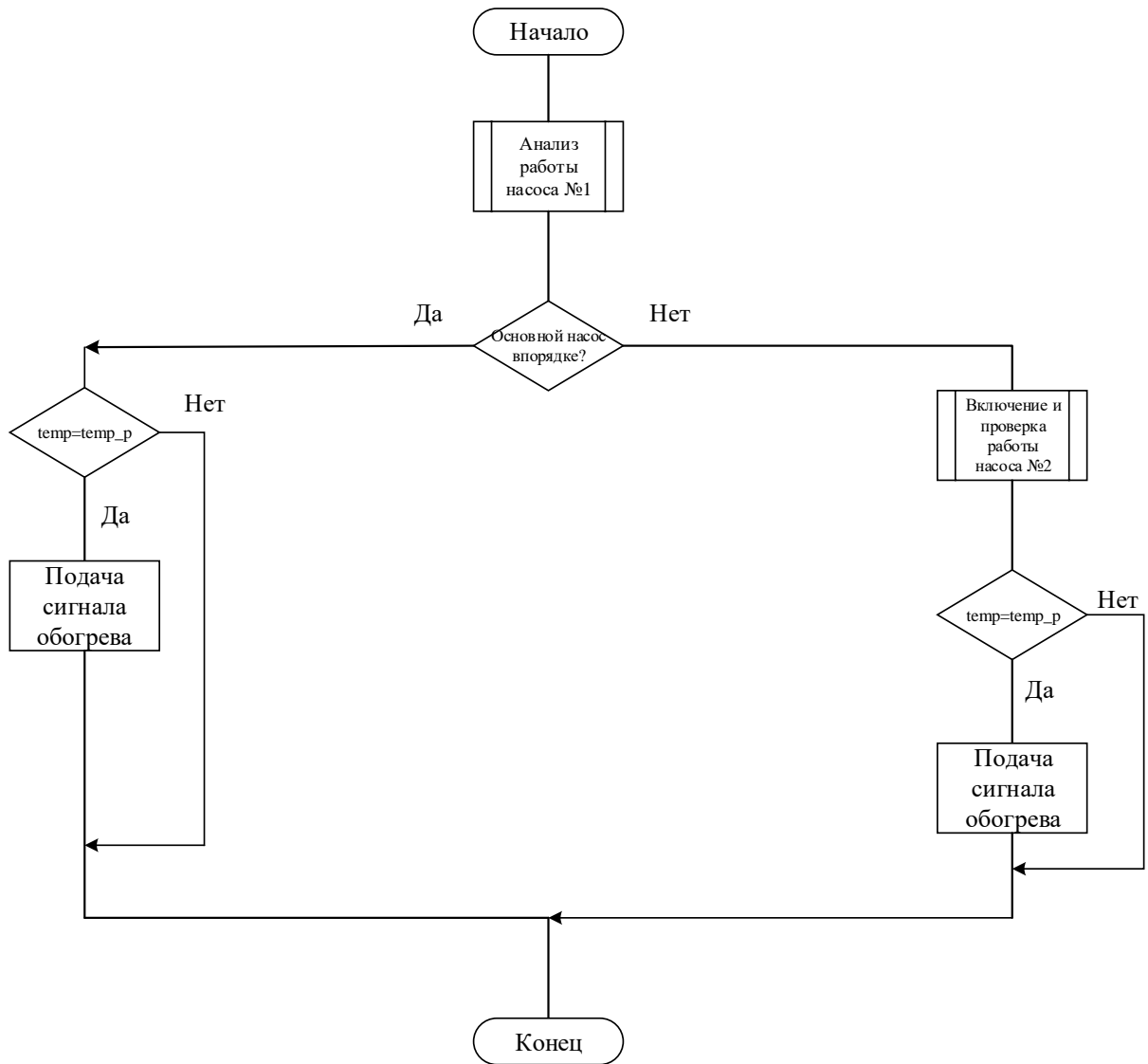


Рисунок 16 – Подпрограмма «Включение блока низкотемпературного контура»



Рисунок 17 – Включение и проверка работоспособности насоса №1



Рисунок 18 – Включение и проверка работоспособности насоса №2

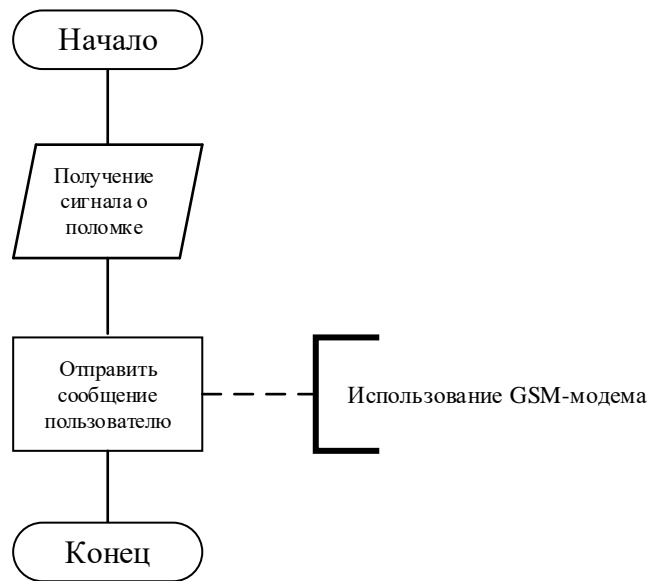


Рисунок 19–Подпрограмма «Включение низкотемпературного контура»

3.6 Разработка специализированного программного обеспечения

Для разработки программного обеспечения была выбрана среда программирования CoDeSys – инструментальный программный комплекс промышленной автоматизации. CoDeSys предоставляет программисту удобную среду для программирования контроллеров на языках стандарта МЭК 61131-3. Используемые редакторы и отладочные средства базируются на широко известных и хорошо себя зарекомендовавших принципах, знакомых по другим популярным средам профессионального программирования (такие, как Visual C++).

Преимущества данной среды программирования:

- распространяется бесплатно;
- может быть без ограничений установлена на нескольких рабочих местах;
- поддерживает пять определяемых стандартом МЭК 61131-3 языков:
 - a) Instruction List (IL) – ассемблер-подобный язык;
 - b) Structured Text (ST) – Pascal-подобный язык;
 - c) Ladder Diagram (LD) – язык релейных схем;
 - d) Function Bloc Diagram (FBD) – язык функциональных блоков;
 - e) Sequential Function Chart (SFC) – язык диаграмм состояний.
- среда программирования предоставлена для программируемых промышленных контроллеров ОВЕН.

Встроенные компиляторы CODESYS генерируют машинный код (двоичный код), который загружается в контроллер. Поддерживаются основные 16- и 32-разрядные процессоры.

При подключении к контроллеру среда программирования переходит в режим отладки. В нем доступен мониторинг/изменение/фиксация значений

переменных, точки останова, контроль потока выполнения, горячее обновление кода, графическая трассировка в реальном времени и другие отладочные инструменты.

3.6.1 Разработка специализированной программы управления системой ресурсосбережения

В среде программирования CoDeSys, на языке ST, разработана специализированная программа управления системой ресурсосбережения.

Запуск системы осуществляется с визуализированной панели управления. Нажатием кнопки пользователь подает сигнал о включении устройств, расположенным в строении и под куполом. С панели задается нужная температура нагрева, так же на ней отображается текущая температура в помещении.

Визуализированная панель для управления системой было создано и настроено с помощью средств визуализации среды программирования CoDeSys.

Работа системы начинается с инициализации портов контроллеров:

```
IF port_opened=0 THEN
```

```
Settings.Port:=com_num; (*номер COM-порта*)
```

```
Settings.dwBaudRate:=115200; (*скорость*)
```

```
Settings.byParity:=0;
```

```
Settings.dwTimeout:=0;
```

```
Settings.byStopBits:=0;
```

```
Settings.dwBufferSize:=0;
```

```
Settings.dwScan:=0;
```

```
END_IF
```

```
COM_SERVICE1(Enable:=(port_opened=0), Settings:=Settings, Task:=OPEN_TSK);
```

Затем происходит проверка работоспособности исполнительных

приборов контроллера, используя проверку работы триггеров, отвечающих за включение систем (*Run_Trig_pump*, *Run_Trig_c*, *Sbros_Trig*) и данные вчитываемые с датчиков (*n1_on*, *n2_on*, *n3_on*, *n4_on*):

```
...  
IF Run=TRUE THEN  
Run_Trig_pump(CLK:=TRUE); (*триггер запуска насоса*)  
Run_Trig_c(CLK:=TRUE);(*триггер запуска воздушного коллектора*)  
Sbros_Trig(CLK:=TRUE);  
IF n1_on = TRUE AND n2_on=TRUE THEN
```

...
Когда проверка работоспособности приборов в системе завершается успешно (*n1_on:=TRUE; n2_on:=TRUE;n3_on:=TRUE;n4_on:=TRUE;*), с датчиков температуры считываются температура на улице. Если она ниже 10 градусов – подается команда о включении исполнительным устройствам, отвечающих за обогрев, одному блоку низкотемпературного контура:

```
...  
IF n1_on = TRUE AND n2_on=TRUE THEN  
IF temp >= temp_n THEN  
(*работа насоса №1*)  
END_IF
```

...
В случае выхода первого насоса из строя производится автоматическое включение резервного насоса:

```
...  
IF n1_out_ = FALSE THEN  
n1_out:=FALSE;  
END_IF  
IF err_n1= TRUE THEN  
Run_Pump2:=TRUE;  
END_IF  
...
```

Подпрограмма работы резервного насоса:

...

*(*включение насоса №2*)*

IF (Run_Pump2=TRUE) THEN

n2_out_:= TRUE;

...

Если она ниже 0 градусов – подается команда отключения всех блокам низкотемпературного контура:

...

IF n1_on = TRUE AND n2_on=TRUE THEN

IF temp>=temp_n THEN

*(*работа насоса №1*);*

END_IF

...

Аналогично происходит работа воздушного коллектора.

Подпрограмма анализа работы воздушного коллектора:

...

IF run_2 = TRUE THEN

run_trig_c(CLK:=TRUE);

ELSE

run_trig_c(CLK:=FALSE);

END_IF

IF run_trig_c.Q = TRUE THEN

Run_c:=TRUE;

...

В случае аварии прибора подается сигнал включения GSM-модема:

...

IF (err_n1=TRUE OR (err_n1=TRUE AND err_n2=TRUE AND err_n3=TRUE AND err_n4=TRUE) OR err_n2=TRUE OR (err_n2=TRUE AND err_n3=TRUE AND err_n4=TRUE) OR err_n3=TRUE OR err_n4=TRUE) THEN

modem:= TRUE;

END_IF

Так же для разработки специализированной программы управления системой ресурсосбережением в среде программирования CoDeSys было использовано созданное ранее программное обеспечение для GSM-модема, отправка сообщения пользователю в случае аварии, написанное на языке SFC (рисунок 20), с использованием библиотеки *SmsOwenLib.LIB* [27]:

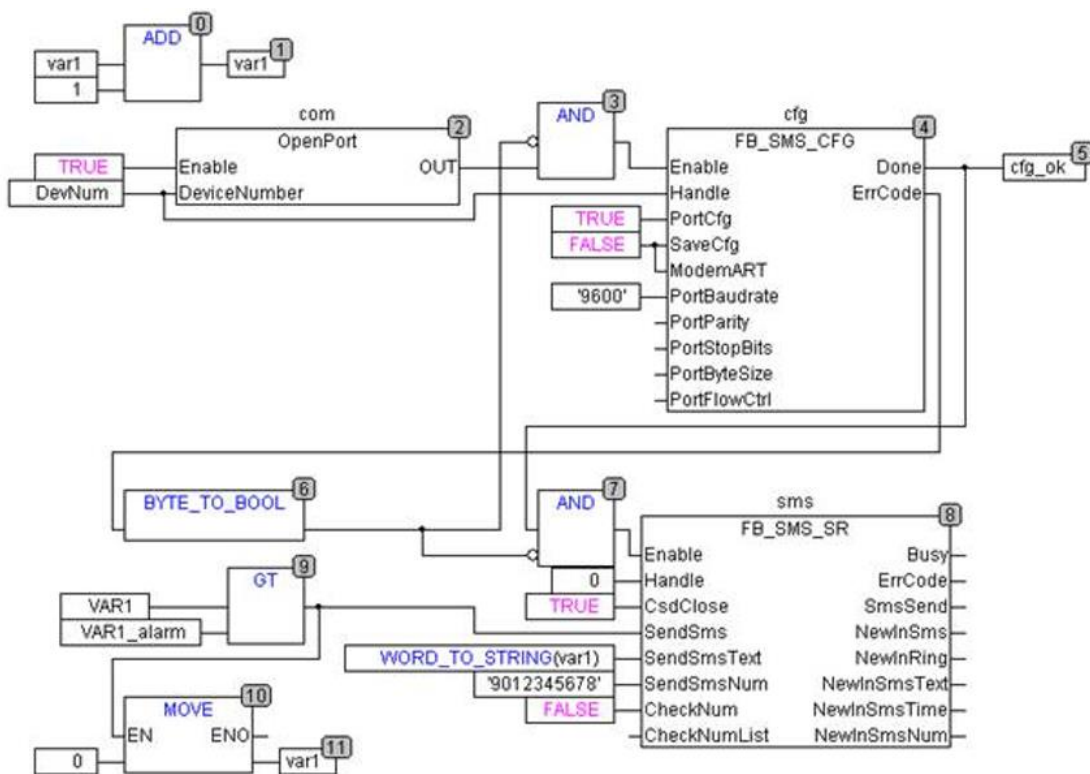


Рисунок 20 – Программное обеспечение для GSM-модема

Вывод в главе 3

На основе анализа математических моделей жилых помещений различной формы, разработанных в главе 2, были разработаны: информационная модель, позволяющая обосновать выбор аппаратных средств, структурная и функциональная схемы автоматизированной системы управления ресурсосбережением, алгоритм работы автоматизированной системы ресурсосбережения, с использованием аппарата многофункционального анализа. Разработано специализированное программное обеспечение для автоматизированной системы управления ресурсосбережением для сооружения с куполообразной оболочкой.

4 Симуляция и эмуляция работы специализированной программы автоматизированной системой управления ресурсосбережением

По итогам разработки специализированного программного обеспечения было внедрение программно-аппаратного комплекса на предприятие.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итогом решения задач поставленных в выпускной квалификационной работе, стала разработка математических моделей оболочек жилых помещений классической и куполообразной форм, как объектов управления. Разработанные модели объектов управления позволили провести анализ энергоэффективности, показавший, что жилое помещение, имеющее куполообразную форму, имеет большую энергоэффективность (в 1,6 раза – пиковое значение, в 1,3 раза – среднее значение) за счет того, что, при сопоставимой высоте помещения и длине стен, имеет меньшую площадь. Таким образом, при сниженных теплотерях, уменьшается количество оборудования в системе и уменьшить сложность программного кода, так же это позволяет обеспечить дополнительную экономию тепловой энергии – 40%. На основании вышеизложенного разработаны: информационная модель, позволяющая обосновать выбор аппаратных средств, структурная и функциональная схемы автоматизированной системы управления ресурсосбережением, алгоритм работы автоматизированной системы ресурсосбережения, с использованием аппарата многофункционального анализа. Разработано и зарегистрировано [31] специализированное программное обеспечение для автоматизированной системы управления ресурсосбережением для сооружения с куполообразной оболочки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мельников, П. П. Нордификация высокоширотного строительства, - [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://research.sfu-kras.ru/sites/research.sfu-kras.ru/files/melnikov.pdf>.
2. Кирьянова, А. Г. Моделирование и исследование системы контроля ресурсосбережения для сооружения с куполообразной оболочкой / А. Г. Кирьянова // WORLD SCIENCE: PROBLEMS AND INNOVATIONS, 2016. – 108-113 с.
3. Кирьянова, А. Г. Система управления ресурсосбережением для сооружения с куполообразной оболочкой/ А. Г. Кирьянова // Проспект Свободный-2016: материалы науч. конф., посвященной Году образования в Содружестве Независимых Государств (15–25 апреля 2016 г.), 2016. – 48-49 с.
4. Кушнир, В. Г. Система отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, основанная на использовании природно–климатических факторов/ В. Г. Кушнир, В. М. Поезжалов // Электротехнические и информационные комплексы и системы, 2014. – 45-49 с.
5. Система управления энергоресурсами, - [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www1.fips.ru/wps/portal/IPS_Ru#1528711372917.
6. Централизованная система рекуперации тепла быстровозводимых сооружений, - [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www1.fips.ru/wps/portal/IPS_Ru#1528711623127.
7. Система автоматического регулирования отопления здания с автоматическим задатчиком, - [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www1.fips.ru/wps/portal/IPS_Ru#1528718655938.
8. Remote home monitoring system, - [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://encrypted.google.com/patents/WO1998045717A2?cl=zh>.
9. Феклистов, Г. С. Использование солнечного теплового коллектора

как элемента системы теплообеспечения/ Г. С. Феклистов, В. С. Малых, П. В. Бучацкий // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки, стр. 186-189.

10. Кряклина, И. В. Рекуперационные системы с использованием грунтовых теплообменников / И. В. Кряклина // Вестник АПК Верхневолжья, том 4, стр. 77-80.

11. Регулятор расхода теплоносителя [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www1.fips.ru/wps/portal/IPS_Ru#1528712298459.

12. Способ контроля и управления процессом потребления электрической энергии и устройство для его осуществления [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www1.fips.ru/wps/portal/IPS_Ru#1528719483059.

13. Способ регулирования режима работы системы отопления [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www1.fips.ru/wps/portal/IPS_Ru#1528719560644.

14. Мультимедийная система контроля и управления энергоресурсами [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www1.fips.ru/wps/portal/IPS_Ru#1528719876345.

15. Устройство для автоматического управления теплопотреблением [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www1.fips.ru/wps/portal/IPS_Ru#1528720442775.

16. Автоматизированная информационно-измерительная система контроля, учета и управления энергоресурсами [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www1.fips.ru/wps/portal/IPS_Ru#1528720837543.

17. Система автоматического селективного регулирования теплопотребления [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www1.fips.ru/wps/portal/IPS_Ru#1528720968766.

18. Построение параллелепипеда [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://blog.kislenko.net/show.php?id=1410>.
19. Построение полусферы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dmshefer.narod.ru/MathCAD.pdf>.
20. Описание MathCAD [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/MATHCAD>.
21. Описание MatCAD [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://model.exponenta.ru/lectures/sml_05.htm.
22. Уравнение Пуассона [Электронный ресурс]. – <https://books.google.ru/books?isbn=5941578490>.
23. Табунщиков, Ю. А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий /Ю. А.Табунщиков. – Москва, 2002.– 194 с.
24. Табунщиков, Ю. А. Расчет теплового режима помещения при раздельном учете конвективной и лучистой составляющих теплообмена /Ю. А.Табунщиков, М. С. Климовицкий. – Сборник трудов НИИСФ «Тепловой режим и долговечность зданий», 1987.
25. Стефанов, Е. В. Вентиляция и кондиционирование воздуха /Е. В. Стефанов. – Санкт-Петербург: Издательство «АВОК Северо-Запад», 2005 — 402 с.
26. СНиП 23-02-2003 (СП 50.13330.2012). «Тепловая защита зданий» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200095525>.
27. Кирьянова, А. Г. Система автоматического контроля и управления ресурсосбережением/ А. Г. Кирьянова, М. А. Вайман //Межвузовскаяна учно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов им. Е. В. Арменского. Материалыконференции. – Москва: МИЭМНИУВШЭ, 2018. – 75-76.

28. Луков, А. В. Теория теплопроводности / А. В. Луков. – Москва: Высшая школа, 1967. 600 с.
29. Эккерт, Э. Р. Теория тепло- и массообмена /Э. Р. Эккерт, Р. М. Дрейк. – Москва: Государственное энергетическое издательство, 1961. 681 с.
30. Табунщиков, Ю. А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий / Ю. А. Табунщиков, М. М. Бородач. –Москва: АВОК-ПРЕСС, 2002. 194 с.
31. Свидетельство регистрации программы ЭВМ[Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www1.fips.ru/wps/portal/IPS_Ru#1528219515382.