

## Пожарная и промышленная безопасность (05.26.03, технические науки)

УДК 614.849

### Система контроля безопасности транспортного контейнера

### Safety control system of a transport container

**Пожаркова И.Н.<sup>1</sup>**

*канд. тех. наук, доц.*

**Чубарь А.В.<sup>1,2</sup>**

*канд. тех. наук, доц.*

**Киселев О.И.<sup>2</sup>**

**Лагунов А.Н.<sup>1</sup>**

*канд. пед. наук*

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Сибирская  
пожарно-спасательная  
академия ГПС МЧС России

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО «Сибирский  
федеральный университет»

**Pozharkova I.N.<sup>1</sup>**

*Ph.D. of Engineering Sciences,  
Docent*

**Chubar A.V.<sup>1,2</sup>**

*Ph.D. of Engineering Sciences,  
Docent*

**Kiselev O.I.<sup>2</sup>**

**Lagunov A.N.<sup>1</sup>**

*Ph.D. of Pedagogic Sciences*

<sup>1</sup>FSBEE HE Siberian Fire  
and Rescue Academy  
EMERCOM of Russia

<sup>2</sup>FSAEI HE Siberian Federal  
University

#### Аннотация:

Проведена декомпозиция системы контроля безопасности транспортного контейнера. Построена компьютерная модель технологического процесса функционирования систем обеспечения температурного режима и наддува в среде визуального моделирования SimInTech. Разработана SCADA-система — пульт оператора, позволяющая контролировать основные технологические параметры систем безопасности транспортного контейнера.

**Ключевые слова:** система безопасности, транспортный контейнер, визуальное моделирование, технологический процесс, компьютерная модель, SimInTech.

#### Annotation:

Decomposition of the safety control system of a transport container is carried out. The computer model of technological process of systems of providing temperature condition and pressurization in the visual modeling environment SimInTech is constructed. The operator console allowing to control the key technological parameters of security systems of a transport container is developed.

**Key word:** control system, transport container, visual modeling, technological process, computer model, SimInTech

В настоящее время, в аэрокосмической промышленности возник вопрос о безопасной транспортировке объектов космической техники (в частности спутников). Условия существования спутников на Земле и в космосе различны (температурные колебания, влажность, запыленность воздуха). Космические спутники производятся в различных конструкторских бюро и заводах, расположенных на удаленном расстоянии от непосредственного места запуска – космодрома. В процессе транспортировки необходимо обеспечить необходимый уровень безопасности, а именно, создать приемлемые условия, обеспечивающие защиту спутника от влияния на него негативных воздействий внешней среды.

Для решения данной проблемы используется специальный транспортный контейнер (ТК), спроектированный для перевозки в нем изделий (блоков изделий) автомобильным, железнодорожным и авиационным видами транспорта весом до 3200 кг (до 5000 кг, включая массу

комплекта средств раскрепления и съемного оборудования), защищающий изделия от посторонних частиц, перепадов влажности и температуры, и т.п.

Создание систем для решения данного класса задач требует значительных финансовых, временных и трудовых ресурсов. Поэтому для выявления всех недостатков, неблагоприятных ситуаций, которые могут возникнуть в процессе функционирования такой системы, проведения экспериментов еще на стадии проектирования целесообразно использование методов компьютерного моделирования [1].

Рассмотрим транспортный контейнер, разработанный ОАО «Информационные спутниковые системы» для доставки на космодромы «Байконур» и «Плесецк» спутников, созданных в ОАО «ИСС». Космические аппараты тяжелого класса (свыше 2000 кг) перевозятся по одному, а спутники среднего класса – по два.

Данный транспортировочный контейнер в автоматическом режиме обеспечивает комфортные условия для космических аппаратов по чистоте, температуре и влажности. Он снабжен системами обеспечения температурного режима (СОТР), электропитания, средствами наддува (СН) для защиты внутреннего пространства от проникновения посторонних частиц, а также блоком дистанционного управления системами контейнера и контроля условий транспортирования (БДУК).

На рис. 1 представлена структурная схема транспортировочного контейнера.



Рис. 1. Структурная схема транспортировочного контейнера

Средства обеспечения температурного режима предназначены для создания и поддержания во внутреннем объеме контейнера требуемой для транспортируемого изделия температуры воздуха (от 5 до 35 °С).

Автоматическое управление СОТР осуществляется контроллерами блока управления, программируемыми на требуемый диапазон температур

воздуха в контейнере. Информацию о температуре воздуха контроллеры снимают с датчиков температуры. В качестве контроллеров, управляющих холодильными установками, применены одноканальные микропроцессорные измеритель-регуляторы. В качестве контроллеров, управляющих тепловентиляторами, применены двухканальные микропроцессорные измеритель-регуляторы. При этом по каждому каналу измеритель-регуляторов выполняется независимое управление одновременно парой тепловентиляторов [2].

В связи с использованием двухканальных измеритель-регуляторов для управления работой тепловентиляторов можно реализовать несколько алгоритмов работы СОТР путем их программирования. Наиболее оптимальным считается следующий алгоритм работы измеритель-регуляторов [3]. Верхние пределы уставок, как по 1-му, так и по 2-му каналу устанавливаются равными (выключение тепловентиляторов), а нижний предел уставок по 1-му каналу выше, чем по 2-му (включение тепловентиляторов). Таким образом, обеспечивается каскадное включение тепловентиляторов.

При таком алгоритме функционирования измеритель-регуляторов работа основных СОТР в автоматическом режиме на нагрев имеет следующую логику. При температуре воздуха в контейнере ниже установленного нижнего предела уставок измеритель-регулятора осуществляется первичное включение всех тепловентиляторов основных СОТР. При достижении температуры, соответствующей верхнему пределу уставок измеритель-регулятора, тепловентиляторы выключаются. При понижении температуры в контейнере до нижнего предела уставки измеритель-регулятора по 1-му каналу включаются тепловентиляторы, и производится нагрев воздуха в контейнере до температуры, соответствующей верхнему пределу уставки измеритель-регулятора по 1-му каналу. Таким образом, выполняется циклическое включение и выключение тепловентиляторов. Если мощности основных тепловентиляторов недостаточно, чтобы поддерживать температуру воздуха в контейнере в установленном диапазоне, и идет дальнейшее понижение температуры, то при достижении нижнего предела уставок по 2-му каналу измеритель-регулятора включаются дополнительные тепловентиляторы. Аналогично осуществляется работа в автоматическом режиме резервных тепловентиляторов, управляемых измеритель-регулятором.

При программировании измеритель-регуляторов, управляющих работой холодильных установок, верхний и нижний предел уставок задаются

равными необходимому диапазону температур воздуха в контейнере, при этом логика работы основных СОТР в автоматическом режиме на охлаждение заключается в следующем. При температуре воздуха в контейнере выше установленного верхнего предела уставки измеритель-регулятора производится включение основной холодильной установки. При охлаждении воздуха в контейнере до температуры, соответствующей нижнему пределу уставки измеритель-регулятора, холодильная установка выключается. Аналогично осуществляется работа в автоматическом режиме резервной холодильной установки, управляемой измеритель-регулятором.

В случае недостаточности мощности основных СОТР для поддержания требуемой температуры воздуха в контейнере возможна одновременная работа основных и резервных СОТР. В данном случае программирование измеритель-регуляторов, управляющих работой тепловентиляторов, выполняется следующим образом: верхние пределы уставок (выключение тепловентиляторов) по 1-му и 2-му каналу обоих измеритель-регуляторов устанавливаются равными, нижние пределы (включение тепловентиляторов) - с понижением по каждому каналу, обеспечивая при этом поочередное включение каждой пары тепловентиляторов при понижении температуры воздуха в контейнере.

Ручное управление работой СОТР обеспечивается объединением программируемых измеритель-регуляторов в локальную сеть на основе интерфейса RS – 485, а также оборудованием для приема-передачи телеметрии и сигналов управления.

Средства наддува предназначены для поддержания во внутреннем объеме контейнера требуемой чистоты воздуха (класс 8 ИСО по ГОСТ ИСО 14644-1-2002) путем создания избыточного давления, препятствующего проникновению во внутренний объем контейнера частиц пыли и влаги из внешней среды во время транспортирования изделия.

Средства наддува (СН) включают в себя четыре баллона высокого давления, расположенных внутри контейнера на днище основания в специально отведенном отсеке, закрытом двумя съемными крышками, и блок наддува. Контроль давления в баллонах осуществляется по манометру.

Автоматическое управление СН непосредственно осуществляется контроллером, программируемым на требуемый диапазон избыточного давления в контейнере. В качестве контроллера применен двухканальный микропроцессорный измеритель-регулятор. В зависимости от величины избыточного давления в контейнере, измеритель - регулятор подает сигнал на открытие или закрытие редукционного электроклапана, установленного на выходе воздушной магистрали, тем самым, регулируя подачу воздуха из баллонов во внутренний объем контейнера. Информацию о величине избыточного давления измеритель-регулятор снимает с датчика дифференциального давления. Текущее состояние электроклапана (открытое или закрытое состояние) отображается на лицевой панели блока управления с помощью световой индикации.

Логика работы СН в автоматическом режиме следующая. При отсутствии избыточного давления в контейнере или ниже установленного нижнего предела уставки измеритель-регулятора производится открытие электроклапана, и воздух из баллонов поступает во внутренний объем контейнера, тем самым, создавая в контейнере избыточное давление. При повышении давления до величины соответствующей верхнему пределу уставки измеритель-регулятора клапан закрывается, прекращая наддув контейнера.

Ручное управление работой СН обеспечивается объединением программируемых измеритель-регуляторов в локальную сеть на основе интерфейса RS-485 и оборудованием для приема-передачи телеметрии и сигналов управления, и предусматривает возможность оператором дистанционно по радиоканалу осуществлять принудительное открытие (закрытие) клапана. При этом контроль избыточного давления в контейнере осуществляется оператором по показаниям измеритель-регулятора или непосредственно по показаниям на мониторе измерительной головки датчика дифференциального давления.

На рис. 2-3 представлены контекстные диаграммы системы управления СОТР и СН в нотации IDEF0 и IDEF3 [1].

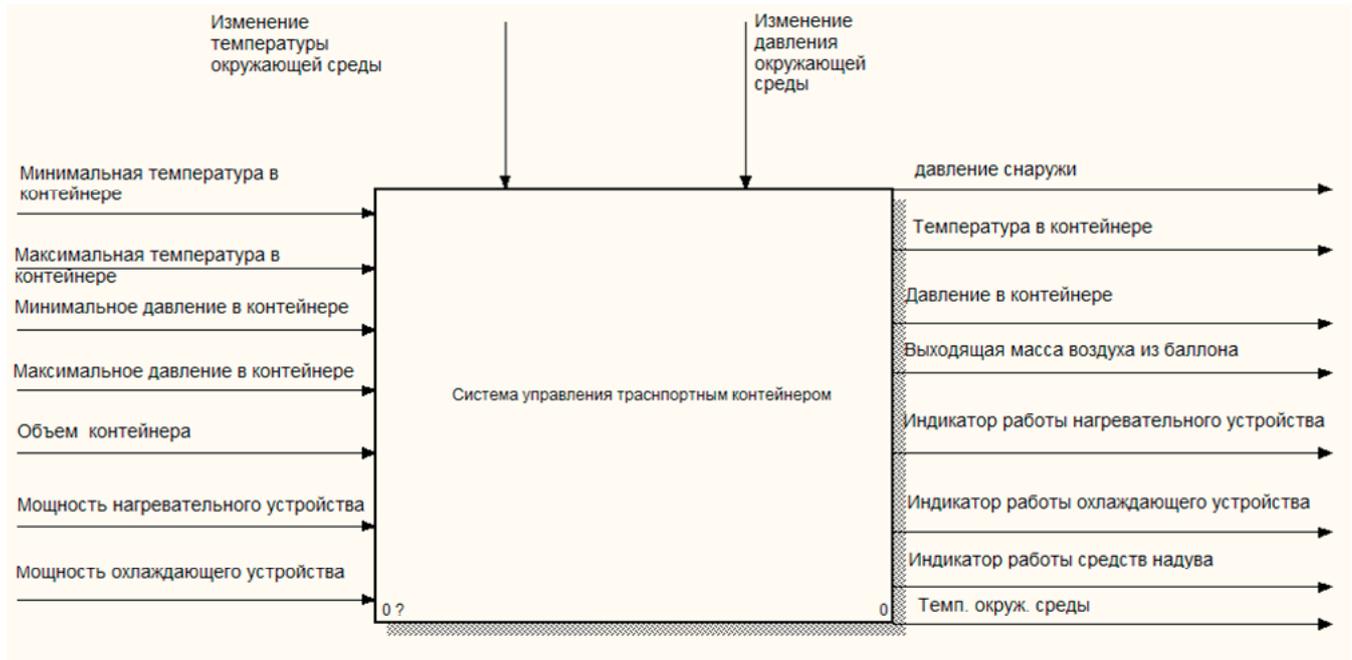


Рис. 2. Контекстная диаграмма системы управления СОТР и СН

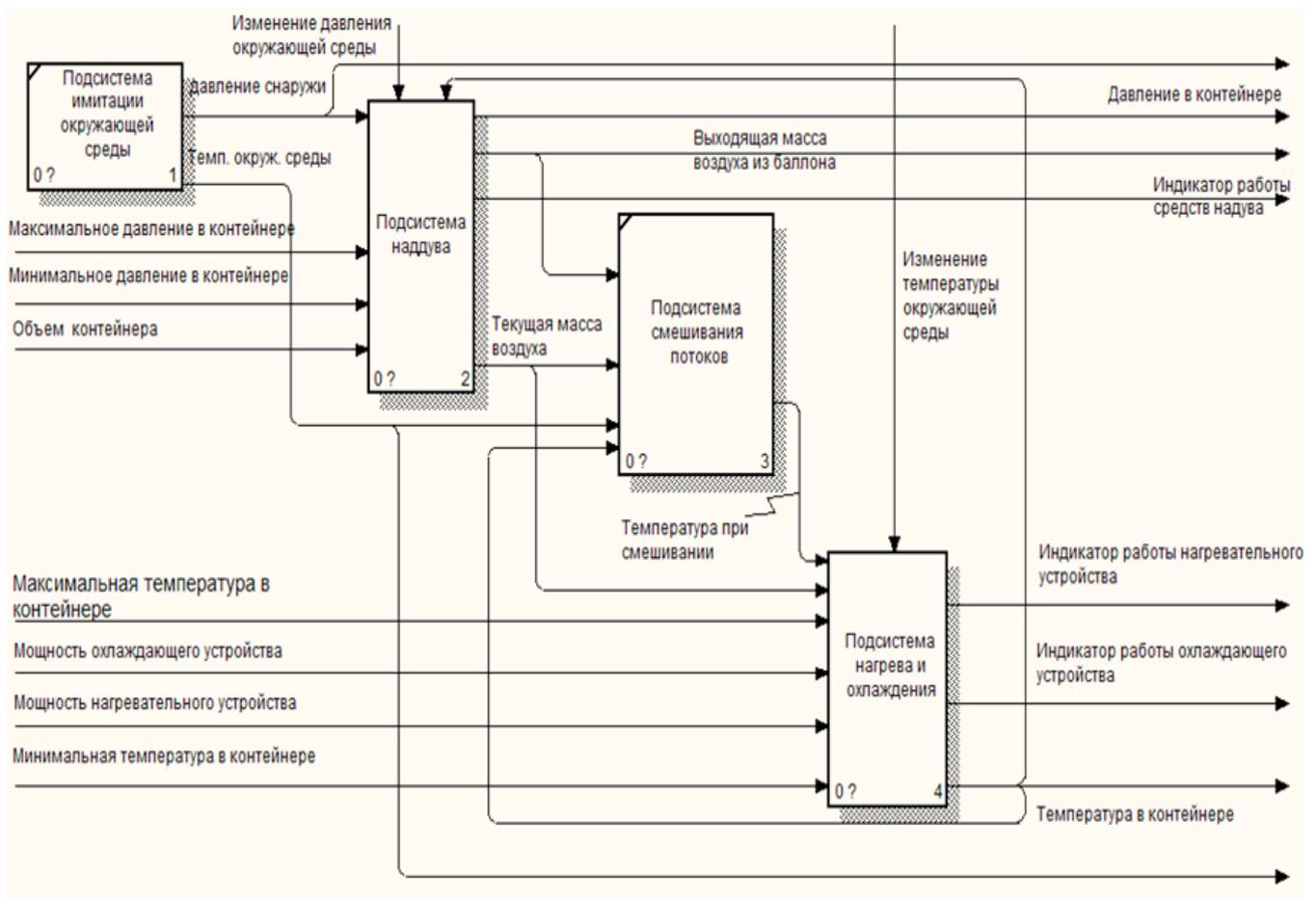


Рис. 3. Декомпозиция контекстной диаграммы системы управления СОТР и СН

Декомпозиция функциональных блоков «Подсистема нагрева и охлаждения» и «Подсистема надува» представлена на рис. 4 и рис. 5 соответственно.

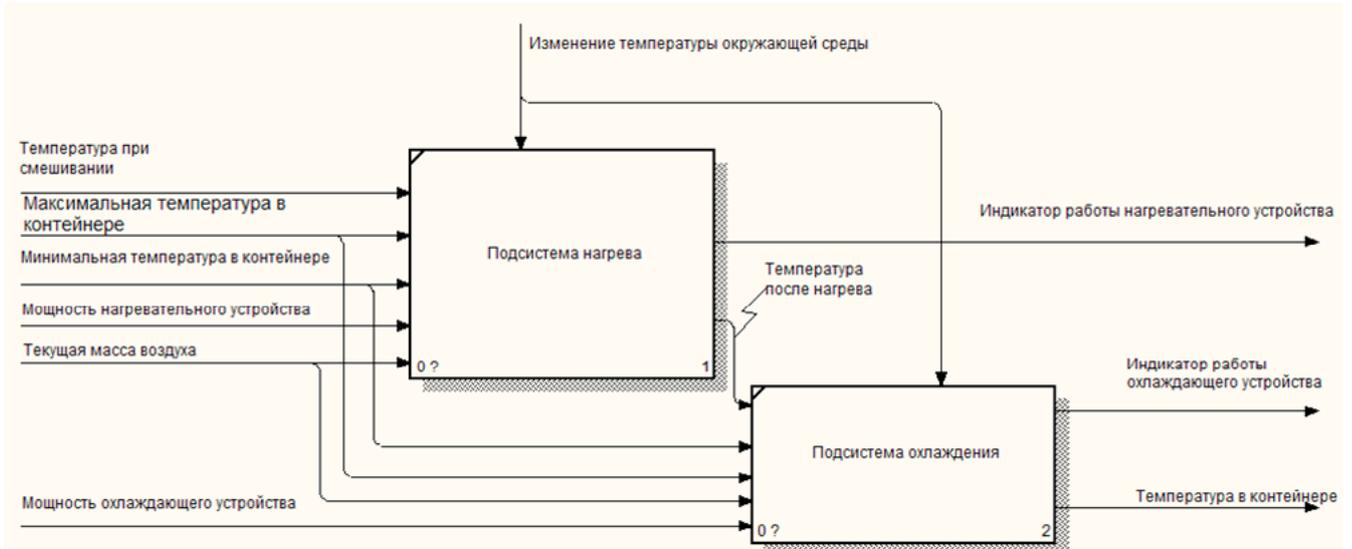


Рис. 4. Декомпозиция функционального блока «Подсистема нагрева и охлаждения»

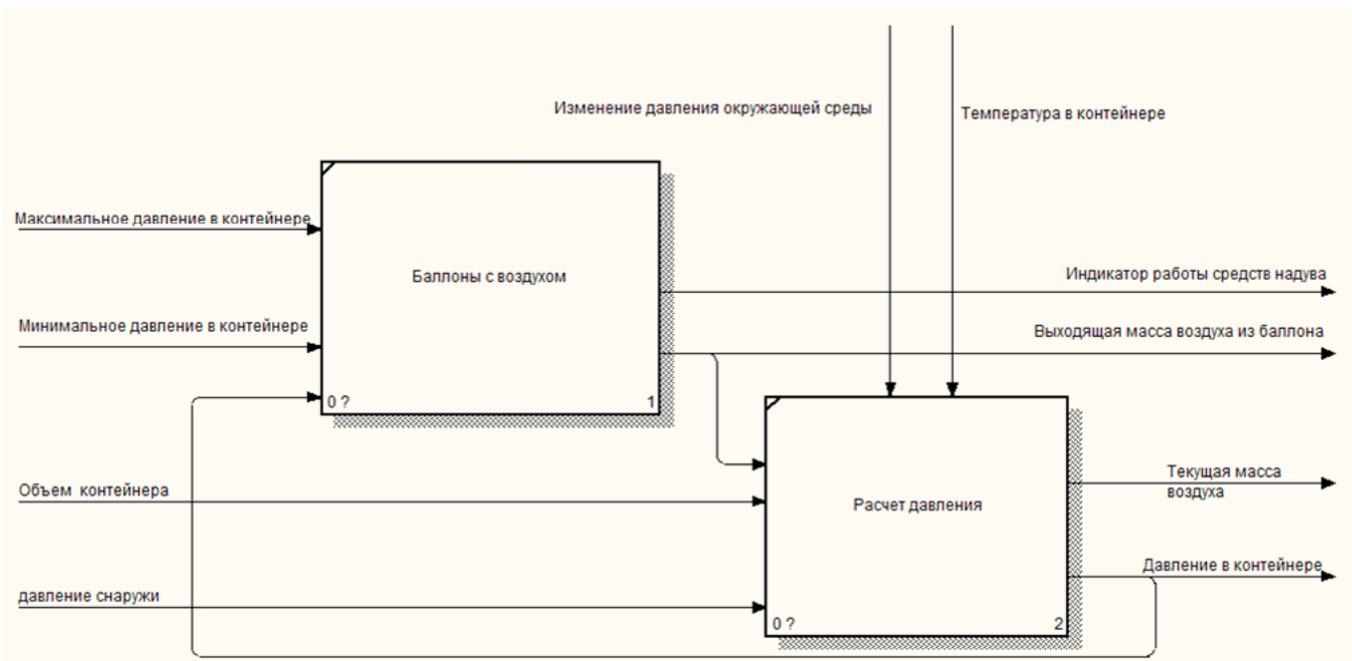


Рис. 5. Декомпозиция функционального блока «Подсистема наддува»

На основе построенных моделей системы управления СОТР и СН авторами разработана его компьютерная модель в среде визуального моделирования. В качестве среды визуального моделирования выбран отечественный продукт SimInTech [4-5].

Общий вид модели системы управления СОТР и СН представлен на рис. 6.

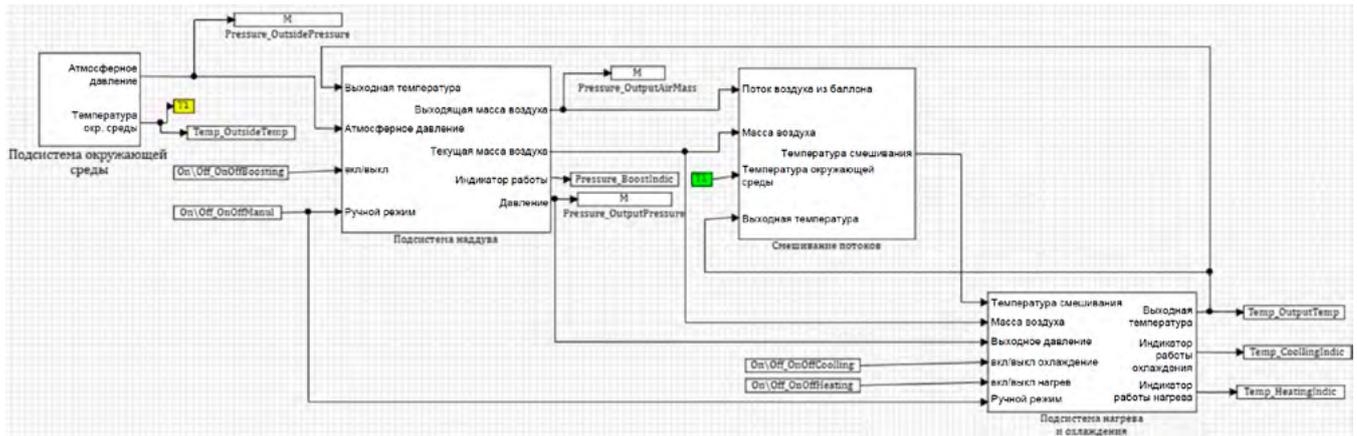


Рис. 6. Общий вид модели

На рис. 7 представлена модель подсистемы наддува.

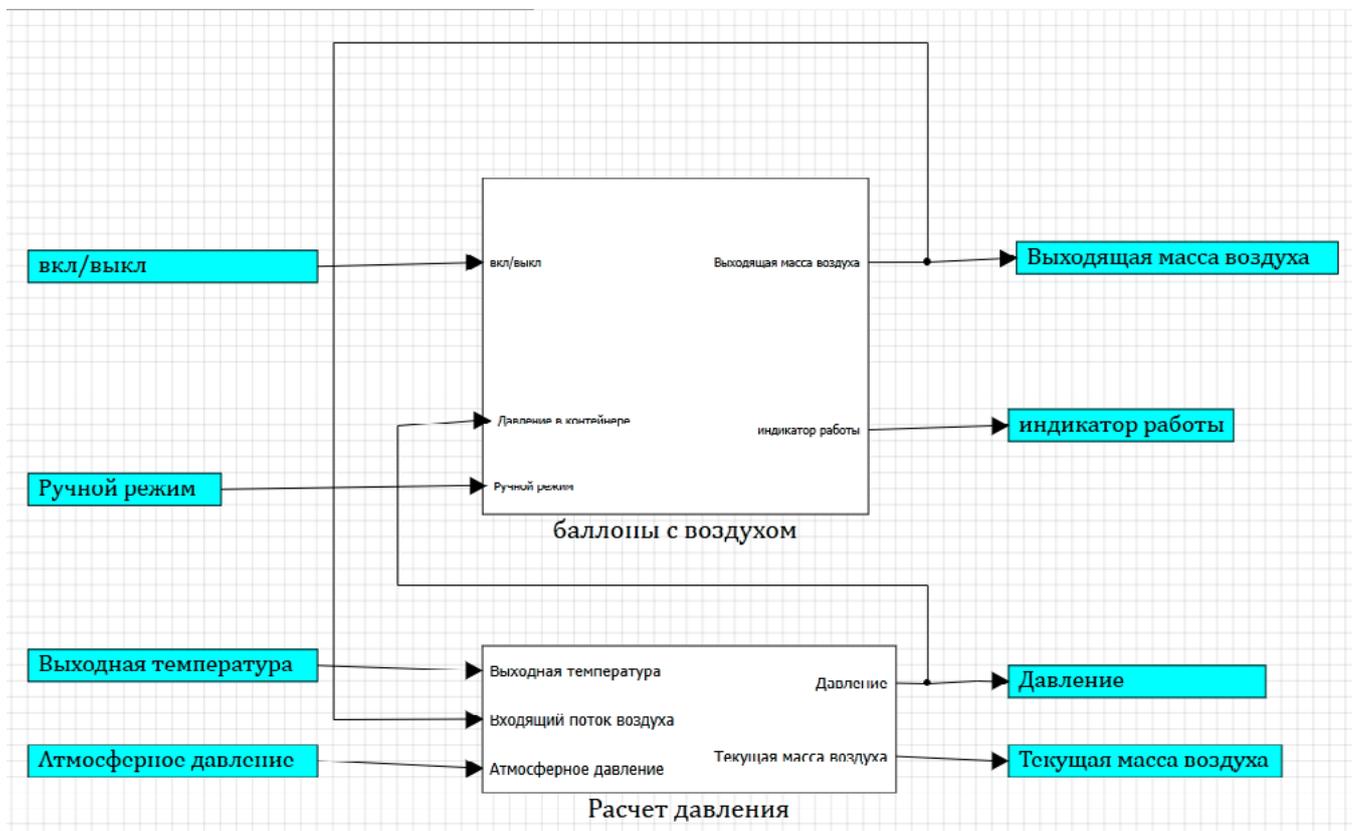


Рис. 7. Подсистема наддува

Расчет давления выполняется по формуле [6]:

$$P = \frac{(m/\mu)RT}{V}$$

где P – давление, V – объем, m – масса, μ – молярная масса, R – универсальная газовая постоянная, T – температура.

В подсистеме «Смешивание потоков» (рис. 8) выполняется процесс смешивания воздуха, посту-

пающего из баллонов с воздухом, находящимся внутри контейнера, по закону, который описывается формулой:

$$T = \frac{g_1 C_{v1} T_1 + g_2 C_{v2} T_2}{g_1 C_{v1} + g_2 C_{v2}}$$

где g<sub>1</sub>, g<sub>2</sub> – массовые доли компонентов смеси, C<sub>v1</sub>, C<sub>v2</sub> – изохорные теплоемкости компонентов смеси, T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> – температуры компонентов смеси.

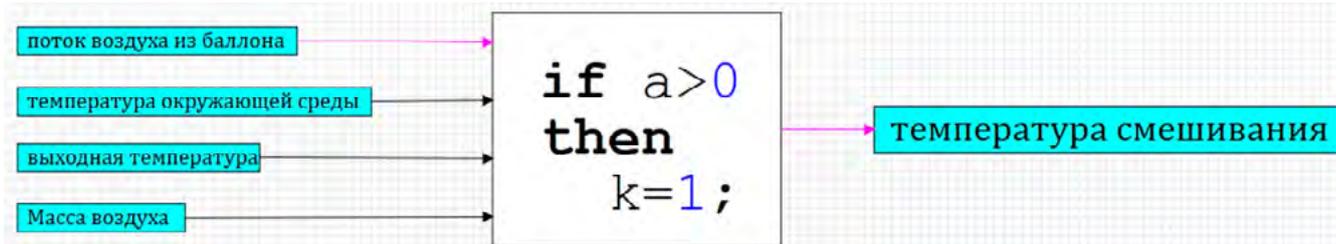


Рис. 8. Подсистема «Смешивание потоков»

Подсистема нагрева и охлаждения (рис. 9) содержит две подсистемы: «Нагрев» (рис. 10) и «Охлаждение» (рис. 11).

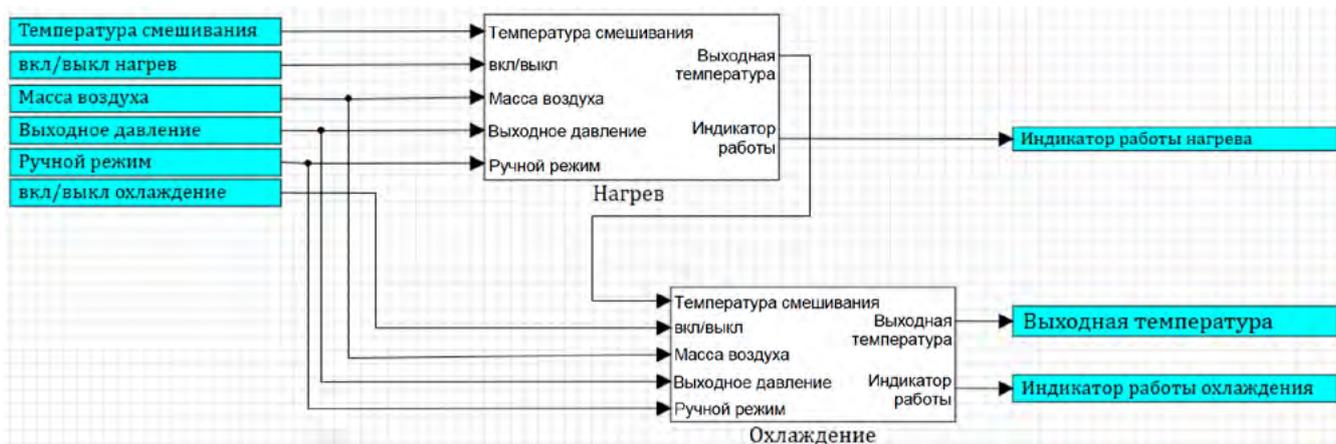


Рис. 9. Подсистема «Нагрев и охлаждение»

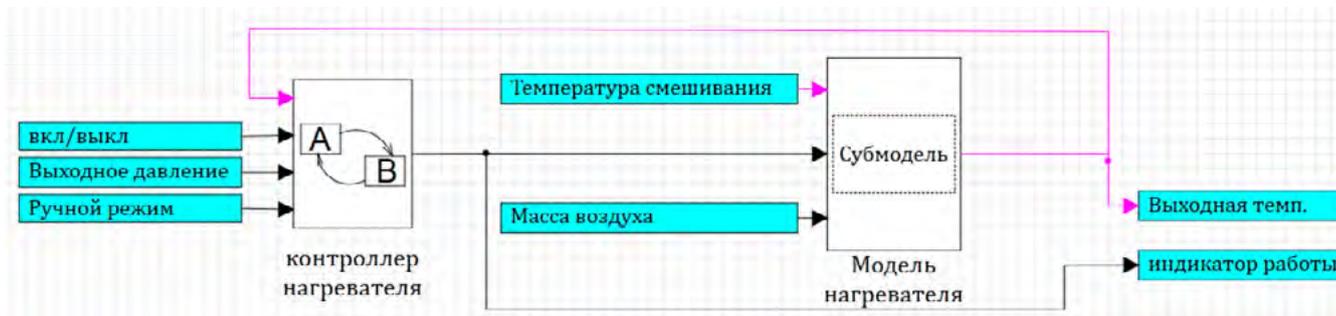


Рис. 10. Подсистема «Нагрев»



Рис. 11. Подсистема «Охлаждение»

Контроллеры нагревателя и охладителя представляют собой конечные автоматы [7] (рис. 12).

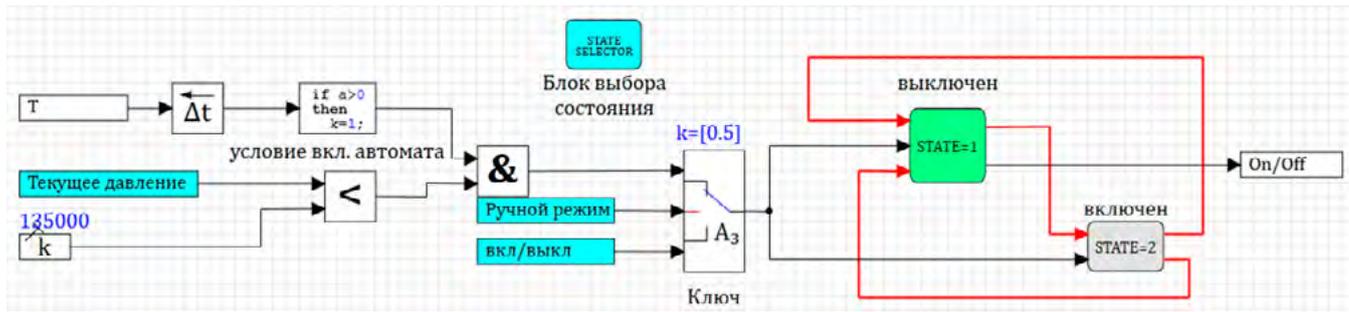


Рис. 12. Конечный автомат

Состояние автомата «Включено» активируется, при условии, что текущее давление меньше 135000 Па, и с выхода блока «Условие вкл. автомата» поступил сигнал, равный 1.

Подсистема «Модель нагревателя» (рис. 13) реализует процесс нагрева воздуха в контейнере согласно формуле:

$$T_2 = \frac{P*t}{c*m} + T_1$$

где P – мощность нагревателя, t – время, c – удельная теплоемкость воздуха, m – масса, T<sub>1</sub> – исходная температура.

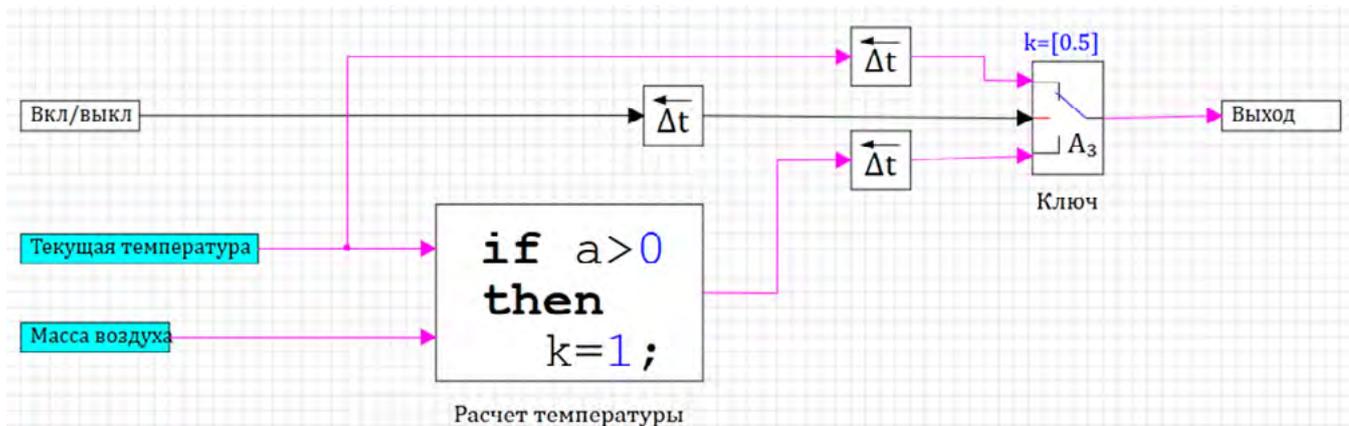


Рис. 13. «Модель нагревателя»

В подсистеме «Охлаждение» «Модель охладителя» идентична «Модели нагревателя», а «Контроллер охладителя» идентичен «Контроллеру нагревателя».

В системе SimInTech была реализована SCADA-система «Пульт оператора» на основе стандартных блоков SimInTech для создания интерфейсов управления (рис. 14).

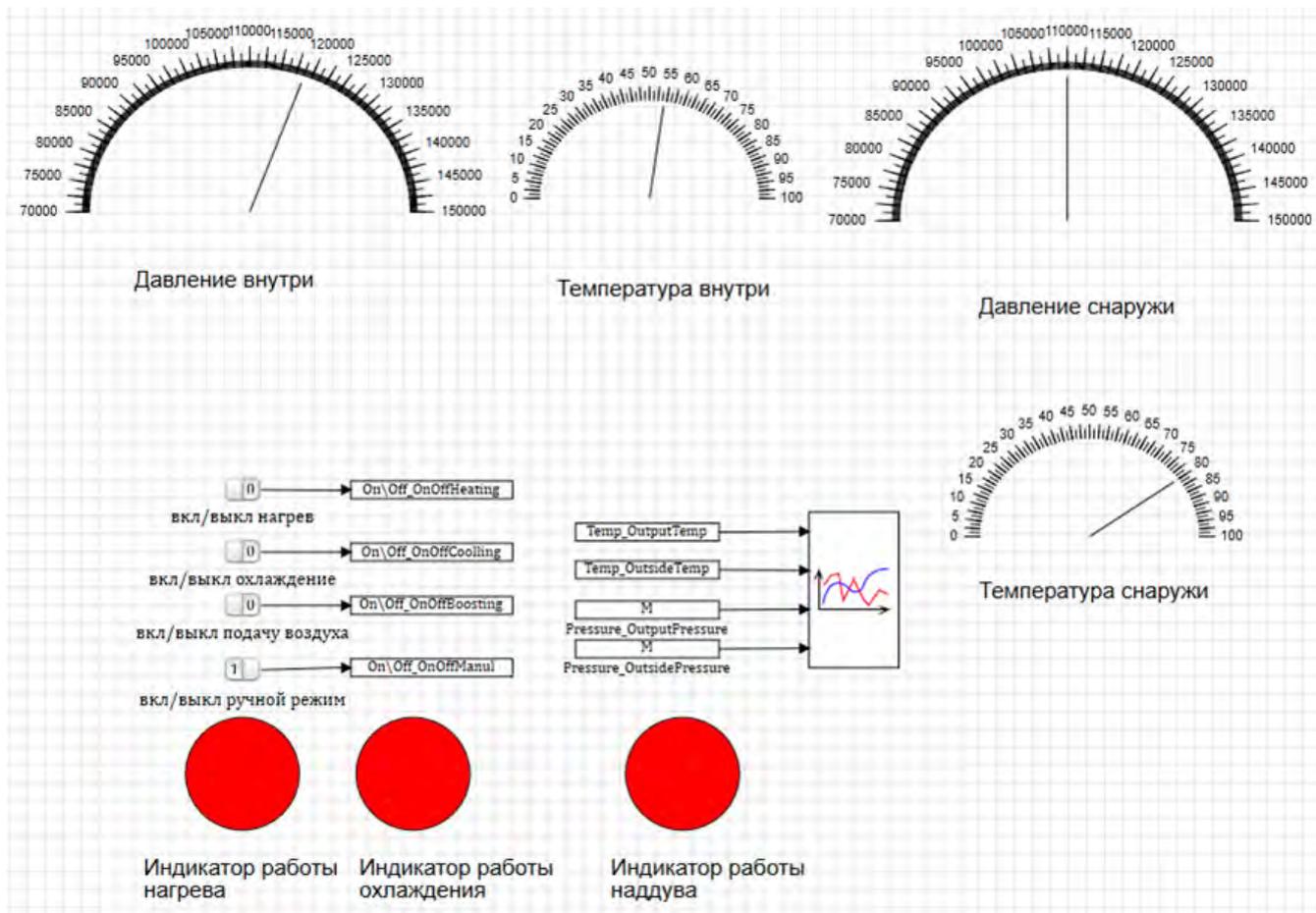


Рис. 14. Пульт оператора

На рис. 15 представлены результаты моделирования функционирования системы.



Рис. 15. Графики функционирования системы

Система функционировала по следующему сценарию. До момента времени  $t=3600$  с. был включен автоматический режим. Давление внутри поддерживалось на уровне  $135000 \pm 10000$  Па. Нагреватель и охладитель до момента времени  $t=2150$  с. находились в выключенном состоянии, так как температура внутри не достигла того уровня, на котором происходит включение данных средств. После  $t=2150$  с. температура достигла отметки  $50$  °С, которая является уровнем включения охладителя. Охладитель понижает температуру до  $45$  °С, затем отключается, пока температура снова не достигнет соответствующей отметки.

После  $t=3600$  с. система была переведена в ручной режим. При этом все средства, обеспечивающие поддержание параметров, были выключены, что привело к росту температуры и падению давления внутри контейнера. В период времени  $4500 - 4800$  с. был включен нагреватель. За это время температура достигла значения  $87$  °С, а давление выросло до  $120000$  Па.

В период времени  $4800 - 6180$  с. нагреватель и охладитель были выключены, а в период времени  $5550 - 5900$  с. была включена система наддува, и давление достигло уровня  $137000$  Па. За время с  $6180$  с. до  $6550$  с. был включен охладитель. После чего система переведена в автоматический режим, и контролируемые параметры вновь установились на требуемые уровни.

Разработанная в SimInTech модель системы контроля безопасности транспортного контейнера позволяет повысить эффективность процессов диагностики и управления ТК и, соответственно, повысить надежность его в процессе эксплуатации.

Изучение характеристик технологического процесса на основе компьютерного моделирования позволяет определить наиболее неблагоприятные ситуации, их характер и последствия, что дает возможность своевременно предусмотреть управленческие и технические решения для обеспечения промышленной безопасности.

### Литература

1. Пожаркова И.Н. Моделирование технологического процесса в среде визуального моделирования SimInTech / И.Н. Пожаркова, А.В. Чубарь, И.А. Грищенко, Е.Ю. Трояк // Научно-аналитический журнал: «Сибирский пожарно-спасательный вестник». – Железногорск: ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2018. №2 (9). С.29-37.
2. Арндт П.Э. Модель системы управления транспортным контейнером // П.Э. Арндт, А.В. Чубарь, И.А. Грищенко. // Сборники IV Международной конференции «Интеграция современных научных исследований в развитие общества» от 26 декабря 2017 конференции / Общество с ограниченной ответственностью «Западно-Сибирский научный центр». – Кемерово, 2017.
3. Арндт П.Э. Модель системы управления транспортным контейнером // П.Э. Арндт, М.А. Рагозина // Международная научно-исследовательская федерация «Общественная наука» / VI Международная научно-практическая конференция «Наука России: Цели и задачи». 10.12.2017, Екатеринбург.
4. Грищенко И.А. Исследование характеристик аппаратов защиты / И.А. Грищенко, И.Н. Пожаркова, А.В. Чубарь // Научно-аналитический журнал: «Сибирский пожарно-спасательный вестник». – Железногорск: ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2016. №2. С.21-26.
5. Сбитнева А.А. Разработка производственной обучающей системы с использованием среды динамического моделирования SimInTech и построением робототехнических устройств / Е.С. Михайлова, А.А. Болунов, А.В. Чубарь, И.Н. Пожаркова // Робототехника и искусственный интеллект: материалы IX Всероссийской научно-технической конференции с международным участием (г. Железногорск, 2 декабря 2017 г.) / под науч. ред. В.А. Углева. – Красноярск: ЛИТЕРА-принт, 2017. С. 234-239.
6. Чухин И.М. Техническая термодинамика. Часть 2 : учеб. пособие / И.М. Чухин. – Иваново: ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина», 2006. – 224 с.
7. Конечные автоматы в среде динамического моделирования SimInTech. URL: <https://habrahabr.ru/post/307090/> (Дата обращения 04.09.2018).