

## «Информатика, вычислительная техника и управление»

УДК 614.849

### Моделирование технологического процесса в среде визуального моделирования SimInTech

### Modeling of technological process in the environment of a visual modeling SimInTech

**Пожаркова И.Н.<sup>1</sup>**

*канд. тех. наук, доц.*

**Чубарь А.В.<sup>1,2</sup>**

*канд. тех. наук, доц.*

**Грищенко И.А.<sup>2</sup>**

**Трояк Е.Ю.<sup>1</sup>**

*<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*

**Grischenko I.A.<sup>2</sup>**

**Troyak E.Y.<sup>1</sup>**

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

*<sup>2</sup>Siberian Federal University*

#### Аннотация:

Рассмотрены этапы моделирования технологического процесса в среде визуального моделирования SimInTech на примере технологического процесса нагрева воды в водонагревателе. Описаны компьютерные модели операций технологического процесса в среде визуального моделирования и нотации IDEF. Разработана SCADA – система, позволяющая производить контролировать основные технологические параметры нагрева воды.

**Ключевые слова:** визуальное моделирование, технологический процесс, компьютерная модель, SimInTech, SCADA, IDEF.

#### Abstract:

The process of modeling the process in the environment of visual SimInTech simulation on the example of the process of heating water in a water heater is considered. Computer models of the process stages in visual modeling and IDEF notation are described. A SCADA system has been developed that allows to control the main technological parameters of water heating.

**Key words:** visual modeling, technological process, computer model, SimInTech, SCADA, IDEF.

Основу современных производств составляют технологические системы, имеющие сложную структурно-функциональную организацию. Как правило, объектом управления в таких системах являются конкретные технологические процессы [1], представляющие собой совокупность технологических операций, выполняемых одними и теми же средствами технологического оснащения. Зачастую технологические процессы не удовлетворяют требованиям безопасности, особенно при нарушении штатного режима работы, что может привести к пожарам и авариям на производственном предприятии. Обеспечение безопасности производства возможно только при своевременном учете на этапе проектирования технологического процесса вероятности возникновения опасных и вредных производственных факторов в результате выполнения технологических операций.

В настоящее время важным этапом проектирования технологических процессов и их автоматизации является компьютерное моделирование, сущность которого заключается в замене исходного объекта его имитационной моделью и дальнейшем изучении модели с помощью реализуемых на компьютерах вычислительно-логических алгоритмов. Работа с моделью, с одной стороны, дает возможность без существенных материальных и временных затрат исследовать свойства технологического процесса, его характеристики в заданных условиях, реализовывать наборы алгоритмов, отображающих ситуации, возникающие в состоянии моделируемого объекта и изменяющиеся по определенным сценариям [2]. С другой стороны, компьютерная модель может использоваться как средство накопления и хранения знаний об объекте исследования и выполнять обучающую функцию.

Технологический процесс характеризуется набором технологических параметров и операций, контроль и управление которыми обеспечивает требуемое качество и безопасность технологического процесса.

Системный подход к проектированию и реализации технологического процесса [3] предполагает следующие основные стадии:

- представление процесса в виде черного ящика с определением входных и выходных координат;
- декомпозиция процесса как совокупности взаимосвязанных технологических операций;
- реализация этих операций с использованием набора технических средств;
- синтез и реализация законов управления, обеспечивающих контроль и регулирование параметров технологического процесса.

Рассмотрим процесс моделирования технологического процесса нагрева воды в накопительном водонагревателе со следующими характеристиками:

- мощность нагревательного элемента – 2000 Вт;
- объем бака – 15 л;
- входной поток воды – 0.5 л/с;
- выходной поток воды – 0.2 л/с;
- температура холодной воды - 10 °С;
- температура нагрева – 85 °С;
- стартовая температура – 20 °С;
- температура окружающей среды – 20 °С;
- теплообмен постоянен и равен 0.5 °С/мин.

В технологическом процессе нагрева воды в водонагревателе можно выделить следующие типовые операции: заполнение бака, смешивание потоков холодной и горячей воды, нагрев воды.

Функциональная модель технологического процесса, разработанная на основе методологии структурного анализа и проектирования (SADT) [4], представлена функциональными диаграммами IDEF0 и IDEF3 (Рис. 1-3).

Методология IDEF0 (Рис. 1-2) предписывает построение иерархической системы диаграмм – единичных описаний фрагментов системы. Сначала проводится описание системы в целом и ее взаимосвязь с окружающим миром (контекстная диаграмма), после чего проводится функциональная декомпозиция – система разбивается на подсистемы и каждая подсистема описывается отдельно (диаграммы декомпозиции).

В соответствии с нотацией IDEF0 стороны блоков на диаграммах имеют следующее назначение: левая сторона блока – входы (температура холодной воды, конечная температура, входной поток воды, мощность, выходной поток воды, стартовая температура, теплопотери, температура среды), верхняя – управление (включение/выключение нагрева, подачи воды, расхода воды), нижняя – механизмы (реле подачи воды, реле расхода воды, нагревательный элемент), правая – выходы (температура, индикация работы, объем). Такое обозначение отражает определенные системные принципы: входы преобразуются в выходы, управление ограничивает или предписывает условия выполнения преобразований, механизмы показывают, что и как выполняет функция.

Контекстная диаграмма технологического процесса нагрева воды в накопительном водонагревателе представлена на рисунке 1.

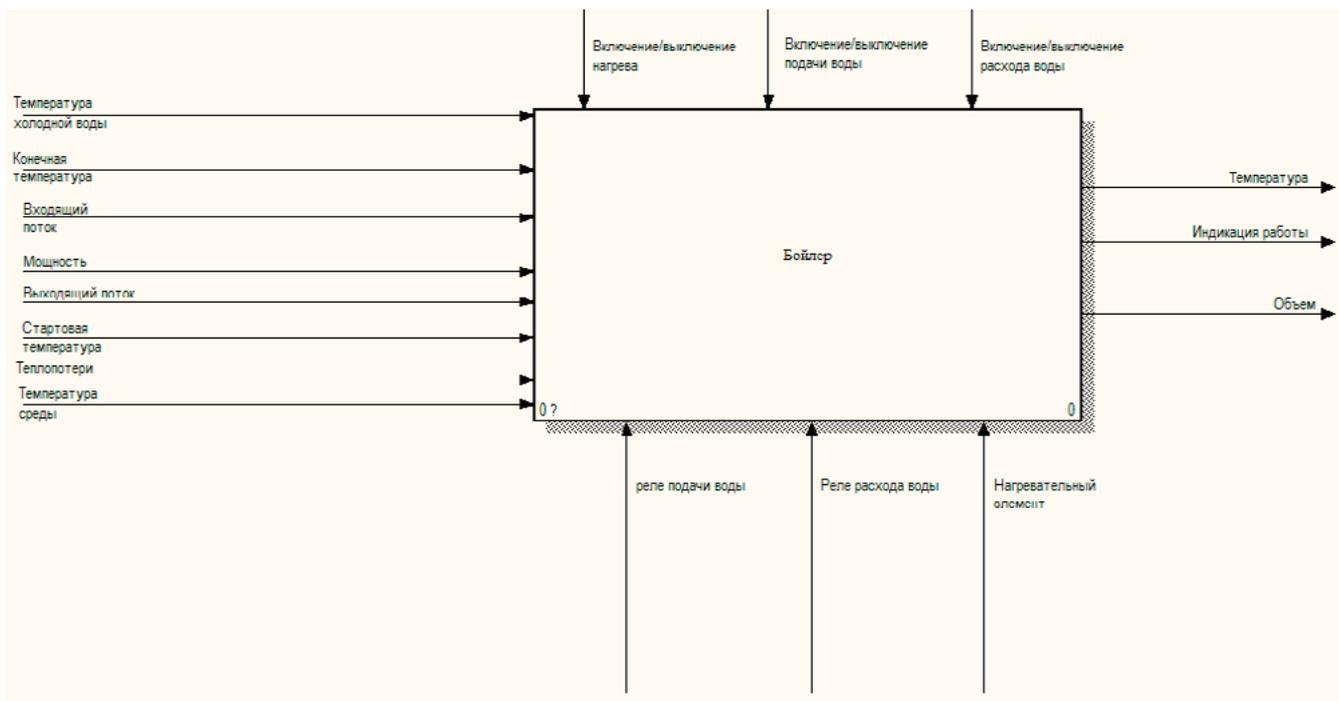


Рис. 1. Контекстная диаграмма технологического процесса нагрева воды в накопительном водонагревателе

По результатам разработки контекстной диаграммы технологического процесса нагрева воды выполнен процесс декомпозиции модели. Декомпозиция контекстной диаграммы в накопительном водонагревателе, включающая в себя блоки, соответствующие отдельным технологическим операциям, представлена на рисунке 2.

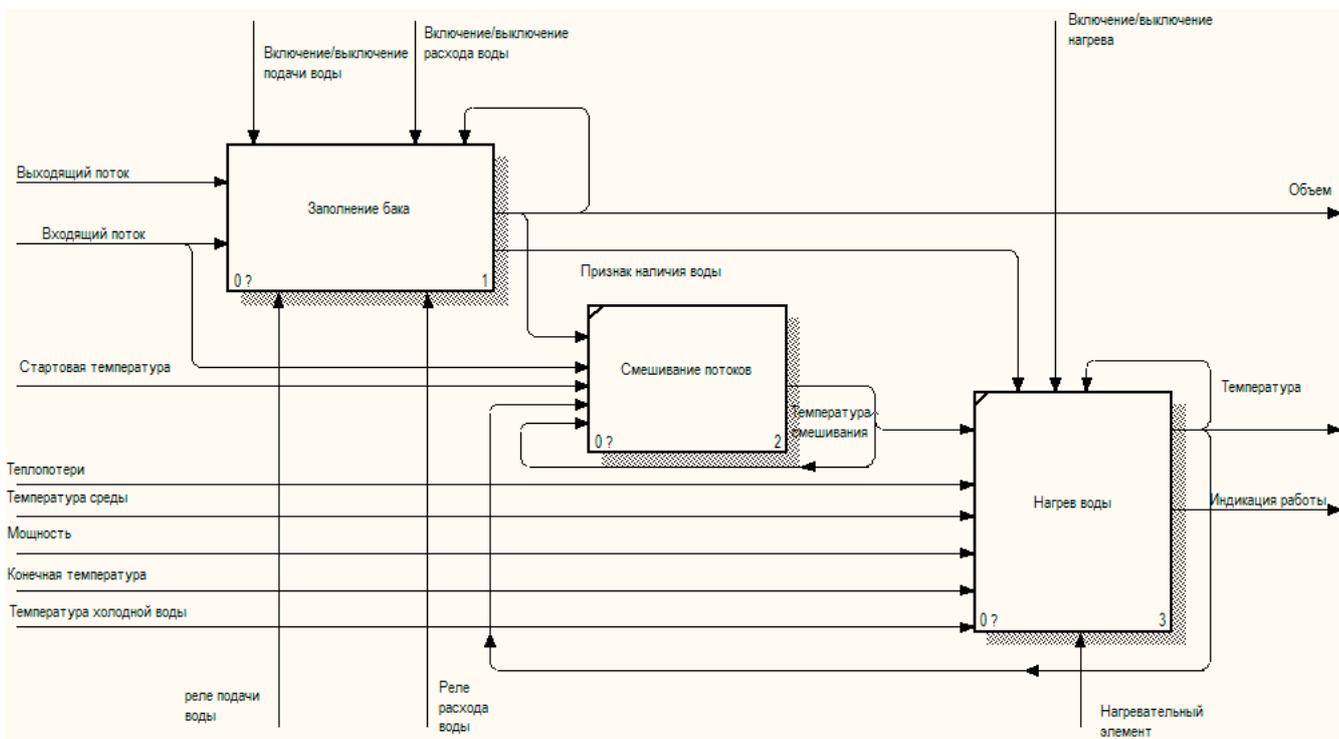


Рис. 2. Декомпозиция контекстной диаграммы

Для дополнительной детализации функциональных блоков диаграммы декомпозиции построены диаграммы IDEF3. Пример IDEF3 диаграммы для блока «Заполнение бака» представлен на рисунке 3. Для остальных блоков диаграммы IDEF3 построены аналогично.

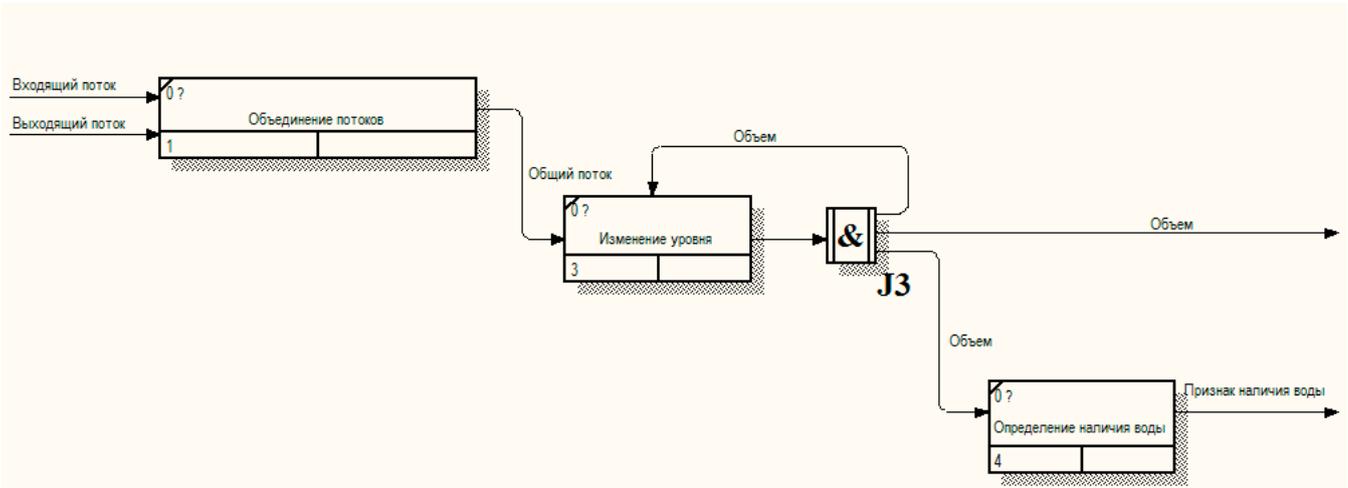


Рис. 3. IDEF3 диаграмма для блока «Заполнение бака»

По построенной функциональной модели технологического процесса авторами разработана его компьютерная модель в среде визуального моделирования. В качестве среды визуального моделирования выбран отечественный продукт SimInTech [5-6], обладающий следующими преимуществами, относительно аналогичных программных продуктов:

- возможность объединения технологических операций в виде макроблока, что соответствует идеологии IDEF модели;
- наличие широкой библиотеки типовых элементов и средств автоматизации и управления;
- сочетает возможности визуального построения модели системы и программной реализации отдельных блоков;
- осуществляет обмен данными между моделью и реальным объектом посредством различных протоколов (OPC, TCP и др.);
- реализовывает возможность контроля и управления режимами в реальном времени посредством SCADA системы.

Блок «Заполнение бака» реализован в соответствии с диаграммой IDEF3 (Рис. 3) схемой в среде визуального моделирования SimInTech, представленной на рисунке 4. Технологическая операция наполнения бака водой моделируется посредством сумматора и интегратора с ограничением. Для определения признака наличия воды в баке используется типовой блок программирования. Текст программы представлен на рисунке 5.

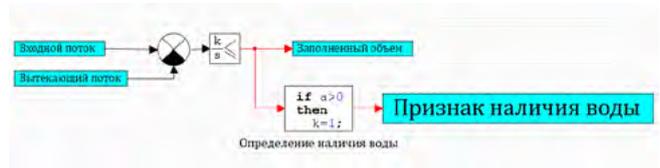


Рис. 4. Схема технологической операции «Заполнение бака» в среде визуального моделирования SimInTech

```

input vInput;
output flag;
var
percent : double = (V_max / 100);
if vInput > (percent * 20) then
    flag = 1
else
    flag = 0;
    
```

Рис. 5. Текст программы блока «Определение наличия воды»

Схема технологической операции смешивания потоков воды представлена на рисунке 6. Для определения температуры воды при смешивании потоков холодной и горячей воды используется следующая формула:

$$t_{рез} = \frac{G_{хол} \cdot t_{хол} + V_{тек} \cdot t_{тек}}{G_{хол} + V_{тек}} + t_{рез} - t_{тек}$$

Где  $t_{рез}$  – выходная температура,  $G_{хол}$  – мощность потока холодной воды, поступающий в бак,  $V_{тек}$  – текущий объем воды в баке,  $t_{тек}$  – текущая температура воды в баке,  $t_{хол}$  – температура холодной воды, поступающей в бак.

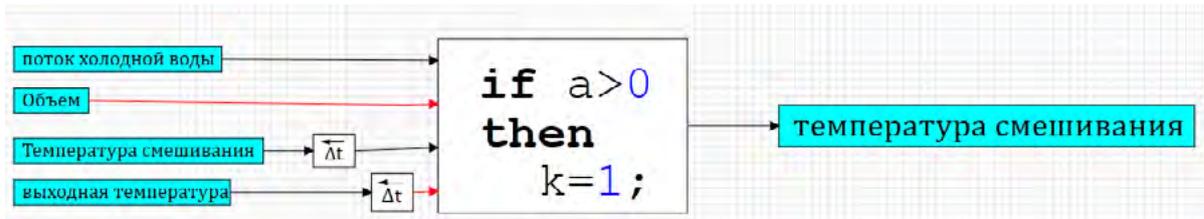


Рис. 6. Схема технологической операции «Смешивание потоков» в среде визуального моделирования SimInTech

Расчет данной формулы реализован в блоке программирования с дискретностью одна секунда (Рис. 7). Блоки задержки на шаг интегрирования используются для развязки алгебраических петель.

```

input GCold;
input V;
input tCurrent;
input tOut;
output t;
var i;
if (time >= i*1.01) or (time >= i * 0.99) then
begin
    t = ((GCold*Tcold + (V *tCurrent)) / (GCold+V)) + (-tCurrent + tOut);
    i = i + 1;
end;
    
```

Рис. 7. Текст программы блока расчета температуры воды при смешивании двух потоков

Модель технологической операции нагрева воды (Рис. 8) включает конечный автомат [7] (блок «Контроллер нагревателя»), использующийся для управления нагревательным элементом. В данном блоке реализован вычислительно-логический алгоритм отключения нагревательного элемента, в случае выполнения одного из следующих условий: температура воды достигла необходимого уровня; пользователь нажал кнопку отключения нагревателя; уровень воды ниже определенного уровня. Если температура воды падает ниже необходимого уровня, то включается нагревательный элемент (Рис. 8-9).

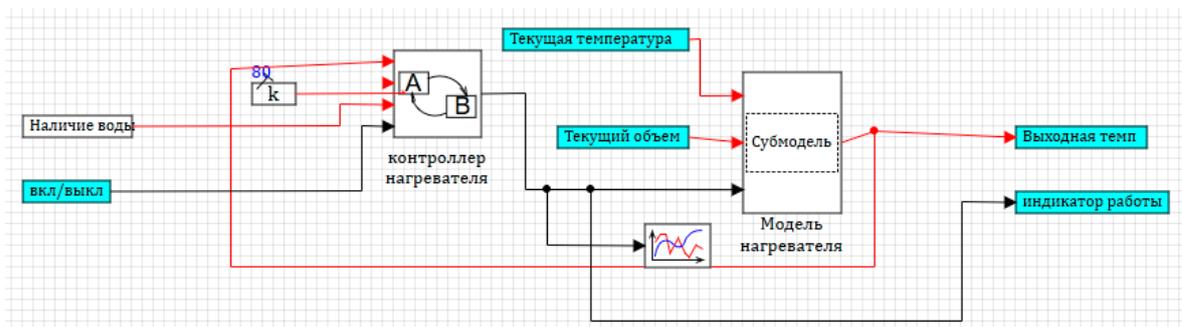


Рис. 8. Схема технологической операции «Нагрев воды» в среде визуального моделирования SimInTech

В модели нагревателя (Рис. 9-10) используется 2 программных блока - расчет температуры и расчет теплообмена с окружающей средой. Когда нагреватель выключен, выполняется расчет процесса теплообмена по алгоритму, представленному на рисунке 10: если температура воды в баке выше температуры окружающей среды, то идет процесс охлаждения воды, в противном случае – нагрева.

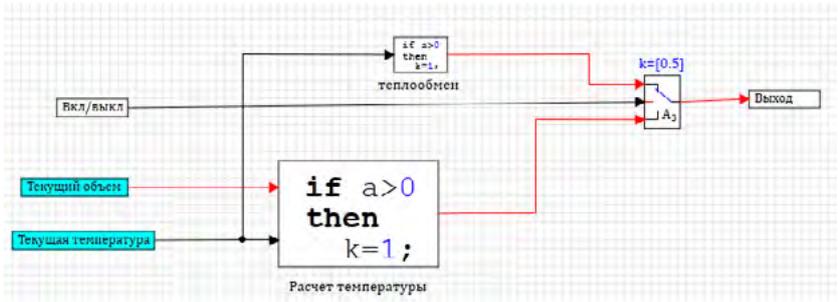


Рис. 9. Модель нагревателя в среде визуального моделирования SimInTech

```

input t;
output y;

if t >= Tinsight then
    y = t - Heatloss;
if t <= tinsight then
    y = t + Theatexchange;
    
```

Рис. 10. Текст программы блока расчета теплообмена

Расчет температуры воды в блоке «Расчет температуры» (Рис. 9) происходит по следующей формуле:

$$t_{рез} = \frac{P}{V \cdot C} + t_{тек}$$

где P – мощность нагревательного элемента, V – объем воды в баке, C – теплоемкость воды,  $t_{тек}$  – текущая температура воды в баке.

Комплексная модель водонагревателя, включающая в себя описанные выше технологические операции (Рис. 4-10), которые взаимодействуют в соответствии с декомпозицией контекстной диаграммы (Рис. 2), представлена на рисунке 11.

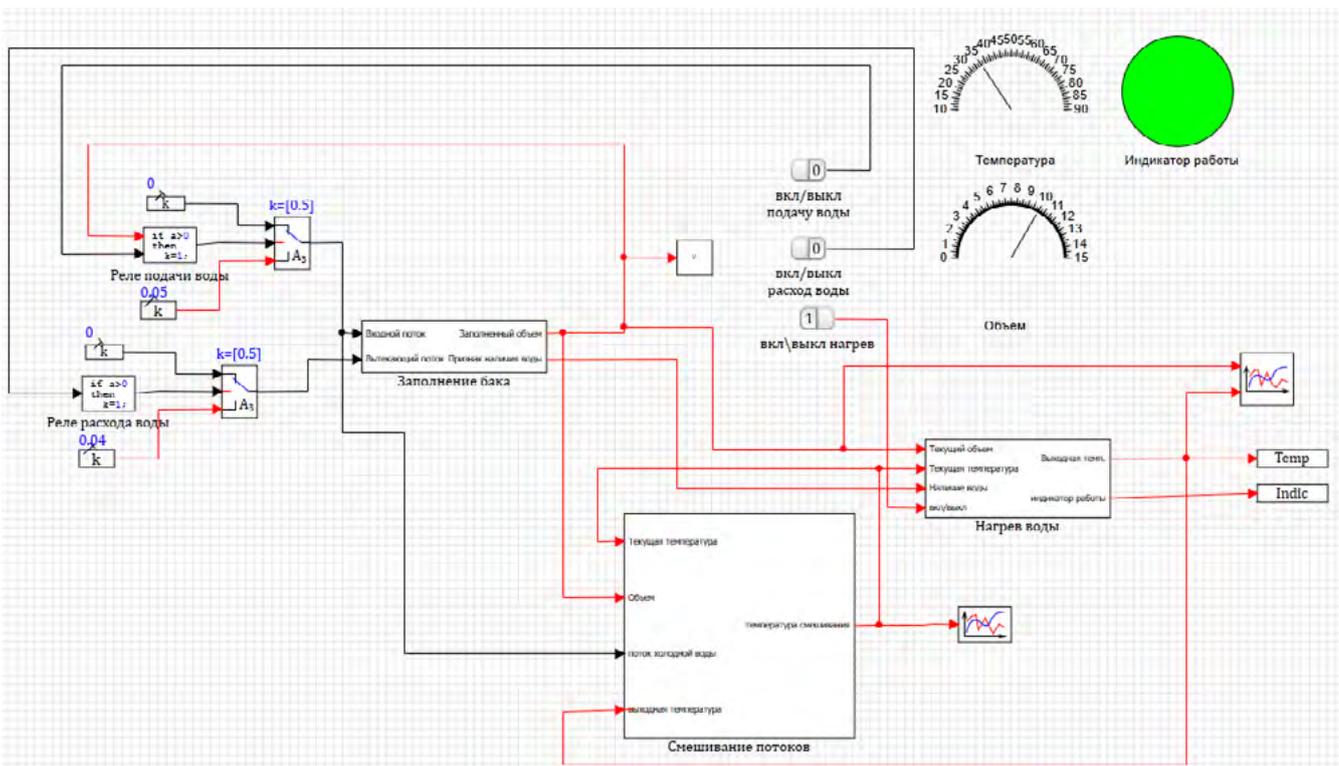


Рис. 11. Комплексная модель водонагревателя в среде визуального моделирования SimInTech

Модель водонагревателя также содержит SCADA-систему, собранную из стандартных блоков SimInTech для создания интерфейсов управления, которые позволяют вручную включать/отключать подачу и расход воды, нагревательный элемент, т.е. реализует управление в соответствии с диаграммами IDEF0 (верхние входы на рис. 1-2). Так, программный блок «Реле подачи воды», отключающий подачу воды, функционирует, если бак полный либо пользователь нажал кнопку отключения подачи воды. Аналогично, блок «Реле расхода воды», моделирующий отключение расхода, работает, если пользователь нажмет на кнопку отключения подачи воды.

Еще одним компонентом SCADA-системы, реализованным стандартными инструментами SimInTech, являются блоки-визуализаторы «Температура», «Объем», «Индикатор работы», позволяющие следить за температурой воды и уровнем воды, а так же по цвету индикатора работы определять текущее состояние водонагревателя (включен или выключен).

На рисунках 12-16 приведена демонстрация работы модели водонагревателя в различных режимах его функционирования.

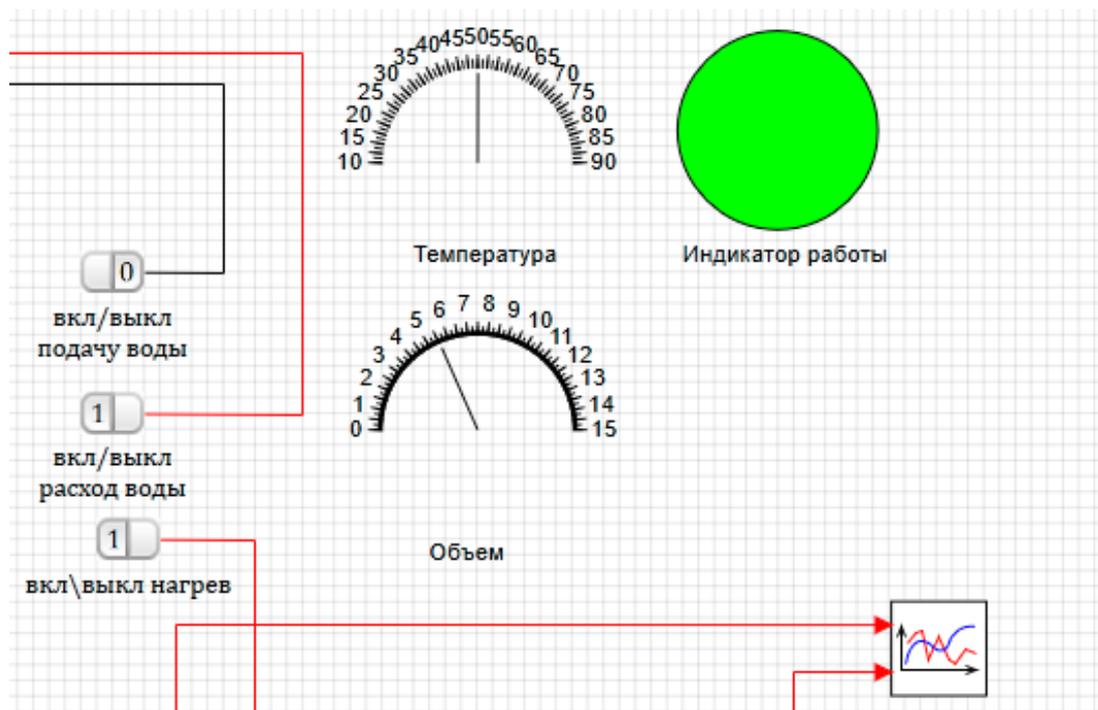


Рис. 12. Настройки модели водонагревателя: нагрев воды включен, расход воды включен, подача воды отключена

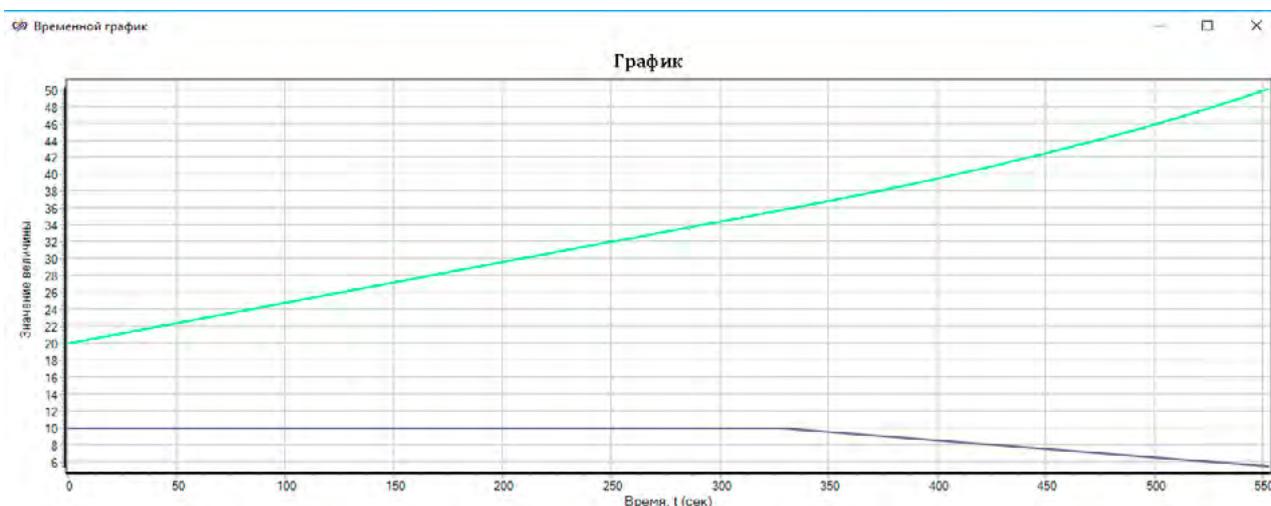


Рис. 13. Временные графики температуры (зеленый цвет) и объема воды (синий цвет) при включенном нагреве, расходе воды, отключенной подаче воды

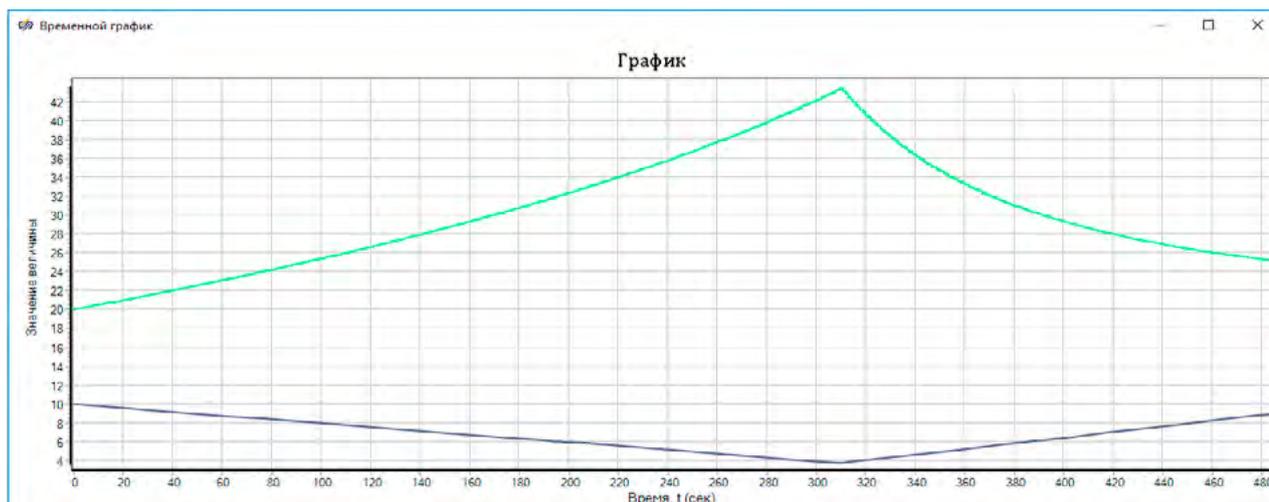


Рис. 14. Временные графики температуры (зеленый цвет) и объема воды (синий цвет) при включенном нагреве, расходе воды, включении подачи воды на 310 секунде моделирования

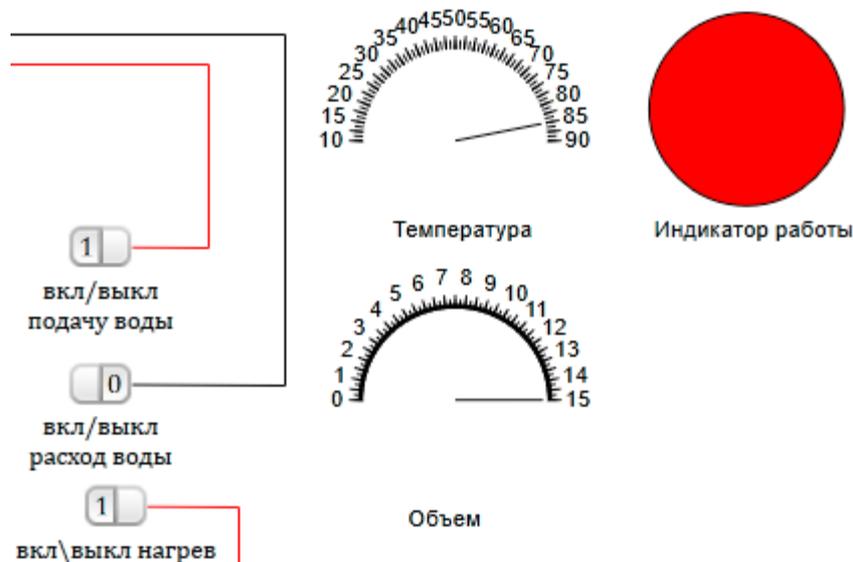


Рис. 15. Настройки модели водонагревателя: нагрев воды включен, расход воды выключен, подача воды включена

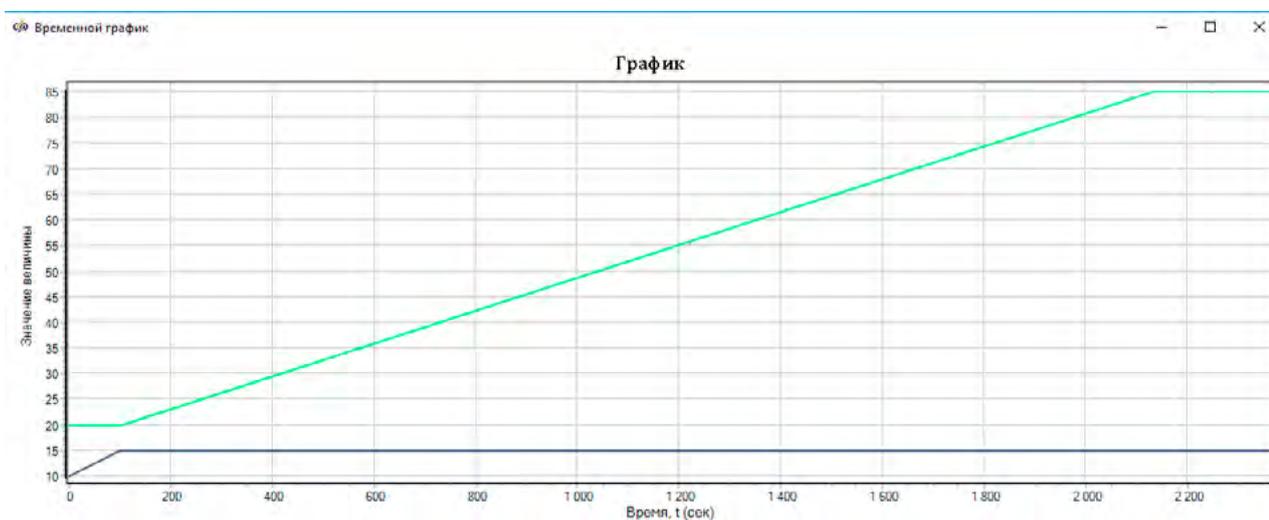


Рис. 16. Временные графики температуры (зеленый цвет) и объема воды (синий цвет) при включенном нагреве воды, выключенном расходе воды, включенной подаче воды

Разработанная в SimInTech модель технологического процесса нагрева воды в водонагревателе позволяет прогнозировать поведение контролируемых технологических параметров, обрабатывать законы и алгоритмы управления технологическим оборудованием и механизмы обмена данными между объектом управления и АСУ ТП, автоматически генерировать исходный код программы управления, обучать пользователя принципам построения и эксплуатации АСУ ТП на основе SCADA систем. Аналогичным образом могут быть построены модели нагревателей других жидкостей.

Изучение свойств технологического процесса по его компьютерной модели дает возможность выявить наиболее неблагоприятные ситуации, которые могут возникнуть процессе его функционирования, в том числе оценить вероятности пожара или взрыва на предприятии, их характер и последствия, что позволит своевременно предусмотреть управленческие и технические решения для обеспечения пожарной безопасности. При этом моделироваться могут как технологические процессы, находящиеся в стадии разработки, так и существующие процессы.

#### Литература:

1. Мальков М.В. Моделирование технологических процессов: методы и опыт / М.В. Мальков, А.Г. Олейник, А.М. Федоров // Труды Кольского научного центра РАН, 2010. №3.
2. Компьютерное моделирование технологических процессов // Тамбовский государственный технический университет. URL: <http://tstuisman.tstu.ru/pdf/lecture3.pdf> (Дата обращения 01.06.2018).
3. Теория систем и системный анализ в управлении организациями: справочник / В. А. Баринов [и др.]; ред.: В.Н. Волкова, А.А. Емельянов. - М.: Финансы и статистика, 2009. 846 с.
4. Грекул В.И. Проектирование информационных систем: курс лекций: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальностям в области информ. технологий / В.И. Грекул, Г.Н. Денищенко, Н.Л. Коровкина. – М.: Интернет-Ун-т Информ. технологий, 2005. 304 с.
5. 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.
6. Сбитнева А.А. Разработка продукционной 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.
7. Конечные автоматы в среде динамического моделирования SimInTech. URL: <https://habrahabr.ru/post/307090/> (Дата обращения 01.06.2018).