**МЕТОДИКА**

**решения учебно-демонстрационной задачи в ПО**

**«Среда динамического моделирования технических систем «SimInTech»**

на примере модели поддержания уровня в главном конденсаторе турбины

Ревизия 1.3, 2015 год

ООО «ЗВ Сервис», 2008

# Оглавление

Оглавление 2

Введение 3

Перечень принятых сокращений 4

1 Постановка задачи 5

1.1 Принципиальная схема 5

1.2 Описание работы системы 5

1.3 Задачи системы управления 5

1.4 Дополнительные данные 6

1.5 Задачи моделирования 6

2 Общая структура решения 7

3 Формирование расчетной теплогидравлической схемы 8

3.1 Создание нового пакета проектов 8

3.2 Создание новой теплогидравлической схемы TPP 9

3.3 Создание схемы регулирования уровня конденсата в конденсаторе 12

3.4 Свойства блоков схемы TPP для листа РУК01 21

3.5 Набор схемы TPP на листе РУК02 25

4 Расчет схемы TPP 30

4.1 Моделирование теплогидравлики 30

4.2 Создание схемы автоматики клапана К1А 31

4.3 Совместный расчет схемы TPP и автоматики 35

4.4 Создание схемы автоматики клапана К1В и К2 36

4.5 Расчет некоторых динамических режимов 37

# Введение

На примере практического использования ПО «SimInTech» в процессе проектирования и моделирования турбинных установок для решения тестовой задачи по оценке динамических процессов в системе регулирования уровня конденсата на одной из турбин, разрабатываемых АО «КТЗ», показаны уникальные возможности среды динамического моделирования технических систем.

По сравнению с пакетом MATLAB (модуль Simulink) компании The MathWorks (USA), используемым АО «КТЗ» для решения прикладных задач проектирования (по состоянию на 2008 год), SimInTech имеет следующие преимущества:

* удобство работы с математической моделью:
* наглядное графическое представление данных;
* возможность оформления документации в соответствии с требованиями ГОСТ или стандартов предприятия;
* сокращение времени создания математических моделей:
* возможность создания математической модели по принципиальным схемам, импортируемым из проектно-конструкторской документации;
* использование готовой библиотеки блоков управления оборудованием;
* использование готовой библиотеки для моделирования паротурбинного тракта электростанций;
* достоверность полученных решений, обусловленная возможностью использования сертифицированных расчетных кодов для моделирования теплогидравлических процессов в паровых и водяных трактах установки.

В настоящем методическом пособии приведено полное пошаговое описание создания демонстрационного расчетного примера «с нуля». Начиная с чистого листа, шаг за шагом изложен процесс набора расчетной схемы в SimInTech и объяснен механизм получения результатов, вывода их на графики, корректировки схемы и анализа полученных результатов.

# Перечень принятых сокращений

ГК – главный конденсатор;

ДШ – дроссельная шайба;

ППУ – паропроизводящая установка;

ПТУ – паротурбинная установка;

ТО БЭЖ – теплообменник блока эжекторов;

ЭКН – электро-конденсатный насос;

ОПУ – охладитель пара уплотнений;

УУ – управляющее устройство;

# Постановка задачи

## Принципиальная схема

В качестве тестовой задачи выбрано моделирование системы регулирования уровня конденсата в главном конденсаторе одной из паровых турбин, находящейся в разработке ОАО «КТЗ». Принципиальная схема системы представлена на рисунке 1.

*ГК*

*ТО БЭЖ*

*ЭКН (3 шт.)*

*К2*

K1B

Н

на рециркуляцию

*УУ*

*ДШ*

*ОПУ*

*G = 0…230 т/час*

Бойлер

≈ 5,7 атм

≈3.6 атм

местное

сопроти-

вление

*c*

*b*

*a*

K1A

Рисунок 1 – Принципиальная схема системы регулирования уровня в ГК

Обозначения на схеме:

ГК – главный конденсатор;

ТО БЭЖ – теплообменники блока эжекторов;

ЭКН – блок электро-конденсатных насосов (3 насоса типа ЭКН-125/140, 2 в работе);

ОПУ – охладитель пара уплотнений;

К1А, K1B, K2 – клапана, регулирующие электрические проходные;

УУ – управляющее устройство;

ДШ – шайба дроссельная;

a, b, ab, c – потоки конденсата;

Н – уровень в ГК.

## Описание работы системы

Для ввода ПТУ в действие в начале процесса производится набор вакуума в ГК, для чего осуществляется подача пара в БЭЖ. При этом минимальная величина подачи ЭКН полностью определяется потребностью ТО БЭЖ. Во избежание переполнения или осушения ГК подача ЭКН в этом случае должна соответствовать величине расхода рециркуляции, возвращаемой в ГК. То есть весь конденсат, откачиваемый на пусковом режиме из ГК, проходя через ТО БЭЖ, направляется обратно в ГК. Такому режиму соответствует следующее положение клапанов:

К1А – открыт полностью,

K1B – закрыт,

К2 – закрыт.

При изменении режима работы ПТУ, сопровождающимся изменением уровня конденсата в ГК (±∆H), например, если уровень растёт (+∆H), то электронное устройство управления (УУ) автоматически формирует управляющий сигнал на закрытие линии “a“ (линии рециркуляции) клапана К1A с соответствующим открытием клапанов К1В и К2 линий “b“ и “c“.

При обратной ситуации, когда ЭКН полностью работает на сеть без рециркуляции (линии “c“ и “b“ открыты, “a“ – закрыта), при уменьшении уровня конденсата в ГК (-∆H) сначала прикрываются клапаны К2 и К1В, затем, если падение уровня в ГК продолжается, начинает приоткрываться линия рециркуляции “a“ (клапан К1A).

Таким образом, благодаря балансу расходов конденсата в ГК обеспечивается постоянство уровня в нём.

Дроссельная шайба на линии рециркуляции необходима для обеспечения равномерного распределения расхода конденсата в сеть (линия “b“) и на рециркуляцию (линия “a“), для компенсации неравномерности, имеющей место из-за разности давлений в ГК и в сети.

## Задачи системы управления

Количество конденсирующейся воды меняется в широких пределах от 0 до 230 тонн в час. Уровень воды в конденсатосборнике при этом должен поддерживаться в диапазоне 393±75 мм.

Вода откачивается блоком, состоящим из трех насосов типа ЭКН 125-140 (в постоянной работе находятся 2 насоса, один в резерве). Напорная характеристика насосов представлена на рисунке 2.

Рисунок 2 – Напорная характеристика насоса ЭКН 125-140

Откачиваемая вода используется для охлаждения в теплообменнике блока эжекторов (ТО БЭЖ). Расход через ТО БЭЖ должен быть приблизительно 90 м³/ч и не должен опускаться ниже 80 м³/ч.

В систему управления подается сигнал с датчика уровня воды в конденсатосборнике и с датчика расхода через ТО БЭЖ. Система управления осуществляет управление приводами типа МЭОФ регулирующих клапанов К1А, K1B и К2 таким образом, чтобы поддерживать уровень в конденсатосборнике в заданных пределах при незначительно меняющемся расходе через ТО БЭЖ.

*Справка: однооборотные (или неполноповоротные) электрические исполнительные механизмы и приводы МЭО, МЭОФ (электроприводы) предназначены для передачи крутящего момента арматуре при ее повороте на один оборот или менее, т.е. от 0 до 360°. Механизмы МЭО и МЭОФ предназначены для приведения в действие запорно-регулирующей арматуры в системах автоматического регулирования технологическими процессами, в соответствии с командными сигналами регулирующих и управляющих устройств.*

## Дополнительные данные

Для создания модели использованы следующие дополнительные исходные данные:

|  |  |
| --- | --- |
| 1) гидравлические сопротивления компонентов схемы:  ТО БЭЖ  ОПУ | -  0,3 атм при 100 м³/ч  0,6 атм при 100 м³/ч |
| 2) местные сопротивления на участке до бойлера | ≈3,6 атм при 200 м³/ч |
| 3) давление в бойлере | ≈ 5,7 атм |
| 4) суммарная длина трубопроводов от насосов до бойлера | ≈ 50 м |
| 5) высота от насосов до бойлера | ≈ 20 м |
| 6) вакуум в конденсаторе (реально изменяется в широких пределах) | принят 9 м |
| 7) Площадь конденсатосборника | ≈6,6 м2 |
| 8) Время полного хода клапана | 25 с |

## Задачи моделирования

Задачами данного моделирования являются:

– ответить на вопрос о принципиальной возможности поддержания уровня данной схемой регулирования с приемлемой для нас точностью;

– оценить точность и быстродействие регулирования при изменении тех или иных параметров системы (алгоритма управления, количества насосов, настроек и т.п.);

– иметь возможность получить переходные процессы в любой точке системы.

# Общая структура решения

Для демонстрации возможностей SimInTech при решении задачи была применена структура математической модели с использованием базы данных сигналов и библиотеки типовых блоков управления оборудованием. Таким образом, готовая расчетная модель состоит из следующих компонентов, объединенных в единый расчетный комплекс:

1. База данных сигналов.
2. Теплогидравлическая модель.
3. Блоки управления оборудованием.
4. Модель алгоритмов.

**Теплогидравлическая модель** создается средствами SimInTech. Из базы данных в модель теплогидравлики поступают сведения о состоянии оборудования (положение задвижек, частота оборотов насосов и т.п.), на основании которых рассчитываются параметры моделируемого процесса (расход, давление, уровень и т.п.). В базу данных сигналов записываются те параметры модели, которые заданы пользователем как точки контроля при настройке общего решения. В качестве расчетного кода может быть применен один из существующих и сертифицированных тепло-гидравлических кодов. В данной задаче использовался расчетный код ТPP, входящий в стандартную поставку SimInTech

Для формирования состояния оборудования используются типовые **блоки управления оборудованием**, которые обеспечивают расчет математической модели для типовых и повторяющихся элементов модели (задвижки, насосы, клапаны, регуляторы и т.п.). Каждый блок представляет собой одну математическую модель, обрабатывающую вектор сигналов, размерность которого соответствует количеству элементов типового оборудования в модели. Если, например, в модели существует 200 одинаковых задвижек, у каждой из которой имеется одинаковый набор сигналов, то один блок управления задвижкой будет обрабатывать векторы из 200 сигналов, а в базе данных будут храниться значения для двухсот наборов сигналов.

**Модель алгоритмов** представляет собой описание работы системы управления в виде структурных схем (**диаграмм алгоритмов**) в различных режимах. Модель алгоритмов получает из базы данных сигналы о состоянии оборудования, параметрах системы, командах оператора, а также командах, сформированных другими алгоритмами. На основании заложенной в алгоритм логики вырабатываются сигналы («открыть», «закрыть», «включить», «выключить» и т.п.) для **блоков управления оборудованием** и (или) других алгоритмов, содержащихся в базе данных.

Рисунок 3 – Общая структура решения

**База данных** обеспечивает обмен данных между частями модели в процессе расчета, позволяет просматривать и изменять значения сигналов в процессе моделирования. При создании и редактировании расчетной схемы с помощью базы данных организуется быстрый и удобный доступ ко всем сигналам модели.

# Формирование расчетной теплогидравлической схемы

## Создание нового пакета проектов

Для того, чтобы в среде SimInTech создать новый проект, необходимо воспользоваться пунктом меню «Файл → Новый проект». В зависимости от задачи, можно выбрать «Пустой проект», «Пакет», или один из пунктов «Схема TPP», «Схема автоматики» или «Схема теплогидравлики».

Если установлены дополнительные модули расширения, то перечень может быть большим, см. рисунок 4:

Рисунок 4 – Диалог выбора нового проекта

В нашем случае, поскольку для расчета понадобятся и схемы автоматики, и схема TPP, нам следует выбрать пункт «Пакет». При выборе этого пункта меню появляется диалоговое окошко управления проектом «Пакет проектов». При создании нового пакета он создается пустой.

Перед тем, как начать добавлять новые проекты в пакет (например, далее мы добавим теплогидравлическую схему TPP), рекомендуется сохранить вновь созданный проект на жесткий диск под оригинальным названием. Нажав на эмблему дискеты в верхнем левом углу окна «Пакет проектов» и выбрав пункт меню «Сохранить как», сохраните в нужную папку новый пакет проектов. Условимся для простоты, что проект будет создан в папке «С:\KTZ\» (см. рис. 5). Выбрав папку, следует в предлагаемом диалоге написать имя нового проекта (в данном случае – имя пакета проектов) и нажать кнопку «Сохранить». Например, наш проект быдет называться «учебная модель ГК турбины». Написав это название в строке диалога сохранения и нажав кнопку «Сохранить», мы возвращаемся снова к окошку пакета проектов, но теперь пакет проектов уже сохранен на диске компьютера под определенным названием и расположен в выбранной папке, что видно из заголовка окошка (см. рис. 6).

Обратим внимание на то, что в SimInTech используется два стандартных расширения для имен файлов:

* расширение \*.pak – пакет проектов (только что созданный файл был именно такого типа);
* расширение \*.prt – проект (далее все файлы пакета проектов будут иметь именно такое расширение).

Рисунок 5 – Диалог сохранения пакета проектов

|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 6 – Сохраненный в С:\KTZ пакет | Другими словами, если в нашу задачу входило бы создание только теплогидравлической модели, то мы не создавали бы пакет проектов, а сразу сделали бы проект нужной модели теплогидравлики. В нашем же случае, когда будет необходима одновременная работа нескольких схем (теплогидравлическая модель, модель автоматики и блоков управления), мы создали pak-файл, который объединит в себе работу нескольких проектов.  Перейдем теперь к созданию проекта (схемы) теплогидравлической модели. |

## Создание новой теплогидравлической схемы TPP

В нашем случае для расчета мы не будем создавать математическую модель теплогидравлики «с нуля», а создадим лишь теплогидравлическую расчетную схему и зададим параметры (свойства) расчетных элементов. Пользователю будет достаточно представить математическую модель в виде привычной технологической схемы, и задать необходимые геометрические и другие свойства. Для расчета схемы воспользуемся сертифицированным теплогидравлическим кодом TPP, входящим в стандартную поставку SimInTech.

Для того чтобы создать схему TPP, аналогично созданию пакета проектов, выберем пункт меню «Файл → Новый проект» и далее выберем пункт «Схема TPP». При этом сформируется новый проект, откроется его схемное окно (пока что пустое) и из всех доступных библиотек элементов отфильтруются только те, которые имеет смысл размещать на теплогидравлической схеме TPP. Внешний вид ПО будет примерно таким как представлено на рисунке 7.

Рисунок 7 – Новый проект типа «Схема TPP»

Как видно из рисунка, для схемы TPP доступны только пять библиотек элементов – «**Субструктуры**», «**Технологические блоки ТРР**», «**Контроль параметров ТРР**», «**Датчики ТРР**» и «**Декоративные элементы ТРР**». Все остальные элементы и библиотеки элементов скрыты от пользователя и не показаны, так как на схеме TPP можно размещать элементы из этих и только этих библиотек.

Далее, как обычно, рекомендуется сохранить созданный проект на жесткий диск. Для этого выбираем пункт меню «**Файл → Сохранить проект как…**» и в появившемся диалоговом окне делаем три вещи: выбираем папку **С:\KTZ**, вписываем название файла (например, «**Схема TPP для учебной модели ГК турбины**») и нажимаем кнопку «Сохранить». По нажатию кнопки происходит запись пустой вновь созданной схемы в файл на диск и мы возвращаемся к схемному окну. При этом заголовок схемного окна изменился и теперь там указан путь и имя файла, в котором содержится данная схема.

Следующим шагом в процессе создания схемы будет являться добавление созданной схемы TPP к пакету проектов. Вернувшись к окошку пакета проектов, нажмем в верхней панели окошка кнопку «Добавить проект». В появившемся маленьком диалоге «Выбор файла» следует либо вручную вписать путь и имя добавляемого файла с проектом, либо нажать на кнопку с папкой для выбора нужного файла в проводнике Windows.

Выбрав нужный файл (в нашем случае это **C:\KTZ\Схема TPP для учебной модели ГК турбины.prt**, и нажав кнопку «Ок», мы в результате получаем следующую картину – открывается еще одно схемное окно с пустой схемой TPP. Это происходит вследствие того, что к пакету проектов мы подключили еще один (пока что первый, конечно) проект – схему TPP, – а при открытом пакете проектов SimInTech автоматически открывает схемные окна всех проектов пакета. При этом следует различать принцип открытия двух схемных окон – одно открыто непосредственно в среде самой SimInTech, а другое открыто как «дочернее» окно пакета проектов. При этом первое можно закрывать и открывать независимо как самостоятельный проект, а другое невозможно свободно открыть и закрыть, т.к. оно входит в состав пакета проектов.

Давайте закроем первоначальное окно схемы TPP, оставим открытым только пакет проектов и перейдем непосредственно к созданию теплогидравлической схемы TPP.

В качестве учебной задачи в данной методике используется оценка динамических процессов в системе регулирования уровня конденсата в главном конденсаторе одной из паровых турбин, находящейся в разработке ОАО «КТЗ». Принципиальная схема системы представлена на рисунке 9. В данном случае теплогидравлическая модель достаточно проста и может быть сформирована на одном листе, как представлено на следующем рисунке (Рисунок 9).

Рисунок 8 – Принципиальная схема регулирования уровня конденсата в главном конденсаторе

Рисунок 9 – Теплогидравлическая расчетная схема, набранная в SimInTech на одном экране

Для демонстрации возможностей SimInTech расчетную схему условно разделим на две части, выделив блок насосов в отдельный лист. Хотя такое разделение в основном применятся для создания математических моделей сложных технологических схем, в нашем случае это будет тоже удобно и наглядно продемонстрирует потенциальные возможности субструктур и масштабирования, имеющиеся в SimInTech. Для особо сложных (полномасштабных) расчетных схем количество листов (субмоделей) может составлять несколько десятков. На верхнем уровне такая математическая модель представлена в виде набора субмоделей – листов, в нашем случае в виде двух листов, как показано на рисунке 10.

Для создания двух листов выполните следующие простые действия над открытым схемным окном:

|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 10 – Две новые субмодели TPP | * Сделайте схемное окно TPP (окно с названием «Схема TPP для учебной модели ГК турбины») активным, если оно не является таковым, нажав кнопкой мыши на заголовок окна; * В панели инструментов SimInTech перейдите к библиотеке «Субструктуры» и выберите второй слева элемент, нажав на него («щелкнув») однократно левой клавишей мыши. Название элемента – «Субмодель TPP». * После этого перенесите выбранный элемент на форму. Для этого передвиньте указатель мыши на свободное место на схемном окне и «щелкните» один раз в нужном месте. При верных действиях указатель мыши после первого «щелчка» кнопкой примет форму выбранного элемента (в данном случае – форму белого прямоугольника), далее выбранный элемент «переедет» на схему и по второму «щелчку» разместится на схеме. |

* Разместив первый элемент в верхней половине открытого пустого схемного окна, повторите действия и разместите второй такой же элемент под первым, уже размещенным, элементом.

|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 11 – Верхний уровень расчетной схемы | Так как по умолчанию свойства блоков одинаковые, в результате вы получите две субмодели TPP, размещенные на схеме одна под другой и имеющие одинаковые названия, т.е. внешне это будет выглядеть как две копии одного элемента библиотеки «Субструктуры» (рис. 12). Приступим к редактированию свойств размещенных субмоделей.  Попробуйте однократно щелкнуть левой кнопкой мыши на одной из субструктур – при этом элемент немного изменит свой внешний вид – выделится красной рамкой с ключевыми KBAдратными точками, и активируются некоторые кнопки вверху на панели инструментов в окне SimInTech. Если далее щелкнуть левой кнопкой мыши на свободном пространстве схемного окна, то выделение «снимется», т.е. исчезнет. Вам нужно зайти в диалоговое окно свойств каждого из элементов. Это можно сделать как минимум тремя способами: |

1. Щелкнуть правой кнопкой по субмодели TPP и выбрать пункт «Свойства объекта».
2. Щелкнуть левой кнопкой мыши по субмодели TPP (активировать ее) и далее выбрать пункт меню «Правка → Свойства».
3. Щелкнуть левой кнопкой мыши по субмодели TPP (активировать ее) и далее щелкнуть по кнопке «Свойства», которая находится вверху на панели инструментов главного окна SimInTech.

Независимо от способа, в результате должно появиться окно свойств выбранного объекта – в данном случае это свойства субмодели TPP. Условно, будем называть два листа РУК01 и РУК02 - сокращение словосочетания «регулятор уровня в конденсаторе». Для переименования свойств в появившемся окне выполните следующую правку свойств:

– в строке «Название листа» напишите «**РУК - система регулирования уровня в главном кондесаторе**»;

– в строке «Имя системы» вместо «KBA» напишите «**РУК**»;

– в строке «Имя листа» вместо напишите «01».

После этого нажмите кнопку «Ок» и вы увидите что внешний вид первой субмодели изменился – надпись сбоку и на субмодели TPP приняли соответствующий и нужный нам вид. Проведите аналогичные дествия со второй субмоделью – ее свойства будут иметь значения «**Блок электроконденсатных насосов**», «**РУК**», «**02**».

Итого - теплогидравлическая схема была разделена на две части:

1. Систему управления процессом регулирования уровня в главном конденсаторе;

2. Блок электроконденсатных насосов.

Условное обозначение РУК (Регулирование уровня в конденсаторе) задано нами произвольно и может быть изменено в соответствии с принятой на предприятии терминологией (наименование систем или подсистем). Пользователь может входить в любую из субмоделей (листов) с верхнего уровня, а также переключаться между листами, используя:

1. Закладки в верхней части экрана;

2. Дерево проекта;

3. Специальные навигационные элементы схемы.

Если вы заметили, то название первого листа слишком длинное чтобы «красиво» уместиться в одну строку. Для того чтобы более компактно разместить листы на схемном окне, зайдите еще раз в свойства первой субмодели TPP (лист 01) и при редактировании свойства «Название листа» нажмите на маленькую кнопку справа от поля редактирования – по нажатию на эту кнопку вы зайдете во встроенный редактор текстов SimInTech, в котором можно набирать многострочный текст. Разбейте название листа 01 на две части, как показано на рисунке 16, и сохраните свойства субмодели – после этого на схемном окне наименование листа также будет отображаться в две строки.

По двойному щелчку на субмоделии в схемном окне вы можете перемещаться на соответствующий лист – как бы переходить на следующий уровень «вложенности» субструктуры. Пока что там пусто, так как мы еще не начали набирать саму схему, но структурно уже подготовили два листа для размещения элементов схемы. Измените названия субмоделей, которые отображаются «внутри» каждой субмодели (по умолчанию внутри каждой новой субмодели размеще один элемент – «текстовая заметка» с текстом «Система уплотнений ГЦН»). Лист 01 назовите как «РУК регулятор урования кондесата в главном кондесаторе», Лист 02 – «РУК блок электроконденсатных насосов».

|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 12 – Текстовый редактор, встроенный в SimInTech | Осталось еще одно свойство, которое следует изменить у каждой субмодели TPP и после этого вы будете готовы перейти к следующему этапу создания теплогидравлической схемы. Это свойство называется «Имя объекта» и находится в окне свойств, но не в первой вкладке «Свойства», а в другой – во вкладке «Общие». Для первой субмодели задайте «Имя объекта» как «РУК01», для второй субмодели – «РУК02», см. рис. 17. |

Здесь важно обратить внимание на то, что имена объектов должны быть уникальны в пределах всего проекта, поскольку для базы данных именно имя объекта является его идентификатором, который обязательно должен быть уникальным. Иначе было бы невозможно отличить один объект от другого.

## Создание схемы регулирования уровня конденсата в конденсаторе

Схема регулирования уровня конденсата, приведенная на рисунке (Рисунок 9), является практически полным визуальным аналогом принципиальной схемы, предоставленной ОАО «КТЗ» в качестве условия тестовой задачи (Рисунок 8).

Библиотека расчетных элементов может быть настроена таким образом, чтобы внешний вид создаваемой схемы полностью соответствовал принятым на предприятии требованиям проектно–конструкторской документации. К разработке и анализу такой схемы можно привлекать специалистов-технологов, не владеющих технологиями математического моделирования, что является преимуществом при использовании пакета SimInTech в проектно-конструкторских организациях.

К настоящему времени существует несколько программных решений, позволяющих осуществлять автоматизированное создание расчетной схемы по уже имеющейся технической документации. В пакете SimInTech возможно создание расчетной схемы, аналогичной изображенной на рисунке, с использованием в качестве исходных данных чертежей, выполненных в формате констуркторских САПР (AutoCAD и аналогичные), что значительно сокращает время разработки математической модели гидравлической системы.

Кроме автоматизации процесса создания расчетных схем в SimInTech существует поддержка технологии PDM (Product Data Managment) и технологий PLM (Product Life Management), например, Enovia-Smarteam. При использовании данных технологий расчетная схема может быть встроена в информационную систему поддержки изделия, а изменения в проектно–конструкторской документации будут автоматически вноситься в математическую модель технической системы.

Приступим к набору схемы в схемном окне. Для этого перейдите на окно «Схема TPP для учебной модели ГК турбины» и выполните двойной щелчок левой кнопкой мыши по первой субмодели TPP для перехода во вложенную субструктуру (т.е. на первый лист теплогидравлической модели). Процедура первоначального создания схемы в общем случае состоит из следующих этапов: размещение элементов схемы на схемном окне; соединение элементов соединительными линиями (в данном случае – теплогидравлическими линиями связи); изменение свойств объектов на требуемые по условию задачи; приведение внешнего вида схемы к удобному виду для дальнейшей работы и редактирования (т.е. создание надписей под блоками, выравнивание линий и элементов и т. п.).

Сначала мы последовательно разместим на схеме все элементы, которые нам требуются. Старайтесь размещать их примерно в тех же позициях, как изображено на рисунках.

Первый элемент, который мы разместим – это граничное условие для схемы – бойлер. В расчетном коде TPP ему соответствует граничный узел типа Р. Для размещения на схеме элемента требуется выполнить действия, аналогичные размещению субмоделей TPP на схемном окне в предыдущем подразделе, а именно: перейти в библиотеку элементов «Технологические блоки», щелкнув один раз левой кнопкой мыши на одноименной вкладке вверку на панели инструментов SimInTech. После этого вы увидите, что вместо девяти элементов библиотеки «Субструктуры» появилось шесть элементов библиотеки «Технологический блоки»: узлы, каналы, арматура, элементы турбонасосных агрегатов, баки и теплообмен. На самом деле в данной библиотеке больше элементов, а появившиеся шесть иконок являются объединением элементов по классам и вмещают в себе каждая по нескольку элементов. Например, если щелкнуть левой кнопкой мыши по иконке «узлы», то появится выпадающее меню с тремя типами узлов (внутренний узел, граничный узел Р, граничный узел G), которые есть в данном классе элементов. Аналогично и остальные иконки – можете для ознакомления понажимать и на них, посмотреть какие элементы доступны здесь.

Для того чтобы разместить бойлер, как и говорилось ранее, нужно выбрать элемент «Граничный узел Р» из класса «узлы», щелкнув по нему однократно левой кнопкой мыши. Далее переместите курсор на схемное окно и в левой верхней части схемного окна разместите граничный узел Р, щелкнув еще раз левой кнопкой мыши на схемном окне . Поздравляем, вы только что разместили первый элемент на листе РУК01. Теперь, если щелкнуть мышкой на пустом месте в схемном окне, и рассмотреть внимательно размещенный элемент, можно увидеть что на самом деле мы разместили два графических элемента (Рисунок 13), представленные как оранжевый шестиугольник и синяя точка. Это сделано для того чтобы отличать узлы разного типа друг от друга – все узлы в схемном окне TPP в SimInTech представлены как синие точки, однако к узлам Р и G (т.е. к соответствующим точкам) присоединяется дочерняя «иконка» - оранжевый шестиугольник или зеленая стрелка, соответственно. Это упрощает в дальнейшем чтение схемы, позволяя сразу (визуально) отличать друг от друга узлы разных типов.

Давайте немного подвинем влево оранжевый шестиугольник, чтобы разделить его и синюю точку для удобной работы с ними в дальнейшем (по отдельности) и для наглядности схемы – для чтения схемы гораздо лучше если элементы не пересекаются и «не наползают» друг на друга . Для этого выделите шестиугольник, щелкнув по нему левой кнопкой мыши и, не отпуская кнопку мыши, передвиньте курсор влево на некоторое расстояние. При этом шестиугольник должен «переехать» на новое место, а синяя точка остаться на прежнем. Аналогично можно перемещать и другие элементы, в т.ч и узел (точку).

Следующим, вторым элементом, будет граничный узел G, через который будет поступать расход в конденсатор турбины. Для этого снова одним щелчком мыши на панели инструментов SimInTech «заходим» в класс элементов «узлы» и выбираем блок **Граничный узел G**. Разместите его на схеме в правой верхней части.

|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 13 – Граничный узел Р | Рисунок 14 – Граничные узлы Р и G |

Поскольку на будущей схеме поток теплоносителя будет двигаться справа налево из размещенного только что граничного узла G, давайте зеленую стрелку сразу приведем в соответствие с этим направлением, то есть развернем ее на 180 градусов и немного увеличим размер. Для этого нажмите на зеленую стрелку правой кнопкой мыши для вызова контекстного меню и выберите пункт «Повернуть на 180 градусов». Сразу после этого (стрелка осталась выделенной, т.е. обрамленной красной рамкой) переместите курсор на правый нижний угол красной рамки и, после того как курсор изменит свой вид на «увеличить/уменьшить размер», растяните немного этот элемент и добейтесь увеличения размера зеленой стрелки, чтобы она примерно соответствовала по размеру оранжевому шестиугольнику размещенного ранее узла Р.

|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 15 – Узел G с развернутой стрелкой | Рисунок 16 – Трехобъемный бак размещен на схеме |

Если вы наведете курсор на синюю точку узла G и задержите там его на небольшое время, то увидите всплывающую подсказку с надписью «NodeG4: Граничный узел G». Если навести курсор на зеленую стрелку, то надпись во всплывающей подсказке будет содержать две строки: «Block3: Картинка Подпитка в узел TPP» и «Владелец: NodeG4». Имена «NodeG4» и «Block3» присвоены автоматически двум элементам на схеме (в вашем конкретном случае порядковые номера могут отличаться от «..G4» и «..3»), а строка со словом «Владелец:…» показывает, к какому именно узлу (к какой именно синей точке) привязан данный элемент (зеленая стрелка). При помощи таких всплывающих подсказок можно при работе со сложной схемой легко и быстро понять и не запутаться, к какому именно узлу принадлежит данная картинка. Такие «двойные» («тройные» и т.д.) элементы встретятся нам и в дальнейшем, причем в каждом случае будет как бы основной элемент (в данном случае это синяя точка) и дочерний к нему (здесь – картинки – оранжевый шестиугольник и зеленая стрелка). Если со схемы удаляется основной элемент (владелец), то автоматически происходит удаление всех его «дочерних» элементов. Но не наоборот – например, при удалении зеленой стрелки сам узел G останется на схеме.

Следующий элемент, который вы разместите на схеме – это компенсатор объема (модель бака - конденсатора турбины), причем для нашей задачи выберем трехобъемный компенсатор из библиотеки «Технологические блоки» и класса элементов «баки». Разместите бак немного левее и ниже граничного узла G (Рисунок 16). Как видно из рисунка, бак по умолчанию тоже является «двойным» объектом – помимо его изображения появилась еще и черная точка – это узел компенсатора TPP (баку автоматически присвоено имя **Compensator4** и этот объект является владельцем узла **NodeK10**). Переместите **NodeK10** в нижнюю часть бака. Для нашей схемы к баку надо добавить еще два узла – один сверху, другой слева от бака. Выполните это, разместив на схеме, точнее – непосредственно на изображении бака еще два элемента – «Узел компенсатора»[[1]](#footnote-1). Сравните полученный результат с рисунком (Рисунок 18) – должно получиться примерно то же самое… Для соответствия описания и вашего проекта разместите узел **NodeK12** вверху бака, а узел «NodeK13» слева от конденсатора. В дальнейшем к этим узлам мы будет подсоединять гидравлические каналы. Если у ваших узлов получились другие имена – переименуйте их для соответствия описанию (на расчёт имена не влияют).

К баку как «дочерний» добавьте еще один элемент – датчик контроля уровня[[2]](#footnote-2) и разместите его на фоне бака в его правой нижней части. Имя, присвоенное данному элементу, должно быть похоже на K\_L3 - проверьте это, наведя курсор на элемент датчика и задержав курсор над ним, чтобы появилась всплывающая подсказка. Выполните двойной щелчок по датчику – этим действием вы попадете в окно «Изменение точки контроля/записи» – измените там имя точки контроля на более простое, например, на **KL**, и нажмите кнопку «ОК». В результате этого на схеме датчик будет отображаться как окошко с названием **KL**.

|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 17 – Три узла бака – черные точки | Рисунок 18 – Переходы (блоки в память и из памяти) |

Теперь разместим блоки перехода с одного листа на другой – выберите элементы «В память ТРР» и «Из памяти ТРР», разместите их на схеме ниже и правее модели конденсатора турбины. Создайте поясняющие надписи к этим элементам - «к ЭКН» и «от ЭКН» (Рисунок 18).

Чем больше пояснительного текста будет на схеме, тем легче будет в ней разобраться вам в будущем, когда вы что-нибудь «подзабудете» и/или тем проще будет в ней разобраться постороннему человеку. Поэтому, при создании любой схемы, как сложной так и простой, всегда пишите комментарии и пояснения, причем желательно к каждому блоку, листу, элементу, связи и т.д.

Следующий шаг – добавим необходимые «внутренние» узлы TPP[[3]](#footnote-3), то есть те, которые расположены на внутренних соединениях труб (тройниках) на схеме – это будут узлы с автоматически присвоенными именами. Первый узел разместите слева от конденсатора, точнее – на некотором расстоянии слева от узла бака **NodeK13**. Позже мы разместим клапан между этими узлами. Присвойте ему имя **U\_1**.

Второй внутренний узел (проименуйте его **U\_2**) разместите левее и на некотором расстоянии от порта перехода от ЭКН. Позже от этого узла мы сделаем разветвление труб – один гидравлический канал пойдет к ТО БЭЖ, другой – к бойлеру. Третий внутренний узел (**U\_3**) разместите снизу и правее бойлера, или, с другой стороны, левее узла **U\_1**.

Теперь перейдем к созданию гидравлических каналов (участков трубопроводов) между узлами. В библиотеке «Технологические блоки» выберем класс «Каналы», и в данном проекте мы будем пользоваться только блоком **Канал общего вида**.

Рисунок 19 – Ch\_01, первая проведенная гидравлическая связь

Проводите каналы в указанной ниже последовательности:

1. Проведите канал общего вида от граничного узла G к верхнему узлу бака, дайте имя каналу **Ch\_01**;
2. Проведите канал общего вида от нижнего узла бака к порту блока «В память TPP» (Рисунок 19, – одновременно проверьте правильность расположения внутренних узлов), присвойте ему имя **Ch\_02**;
3. Следующий канал – от порта блока «Из памяти» к внутреннему узлу – этому каналу присвойте имя **Ch\_03**;
4. От узла **U\_2** к узлу **U\_1**, имя канала – **Ch\_04** (Рисунок 20, на рисунке блоки подписаны);
5. От узла **U\_2** к узлу **U\_3**, имя связи – **Ch\_05**;
6. От узла **U\_3** к граничному узлу Р (к бойлеру), имя связи – **Ch\_06**;
7. От узла **U\_1** к узлу **U\_3**, имя связи – **Ch\_07**;
8. От узла **U\_1** к узлу бака **NodeK13**, имя связи – **Ch\_08**;

Как промежуточный итог, вы должны получить схему, показанную на рисунке (Рисунок 21).

Рисунок 20 – Проведено четыре канала общего вида

Рисунок 21 – Проведены все каналы на листе 01

Переходим к размещению клапанов, причем на этой схеме их всего три – **К1А**, **К1В** и **К2**. Все три клапана – это элементы библиотеки «Технологические блоки», класс «Арматура», элемент «Регулирующий клапан ТРР». Разместите клапаны на каналах **Ch\_08**, **Ch\_07** и **Ch\_05**, соответственно. После этого в свойствах каждого клапана отредактируйте их названия на требуемые и разверните клапан **К2** на 90 градусов, чтобы отображение положения клапана (сейчас это число «0.0») разместилось справа от клапана, а сам клапан стал вертикальным (Рисунок 22).

Рисунок 22 – Три клапана на листе 01 схемы TPP

Для того чтобы соединить каждый клапан с соответствующим каналом, следует нажать правой кнопкой мыши на клапане, выбрать пункт контекстного меню «Действия → сменить владельца» и после этого еще раз разместите каждый клапан над соответствующим каналом (щелкните левой кнопкой мыши, т.е. курсором-«клапаном», по каналу). После этого всплывающие подсказки над каждым клапаном будут показывать что у клапана есть владелец. **Примечание**: начиная с версии 1.6 эта ошибка исправлена и арматура при размещении на схеме размещается на том канале куда она поставлена.

На схеме, которую вы постепенно создаете, используются готовые блоки теплогидравлического кода. Особенностью библиотеки TPP являются уже встроенные интерактивные процедуры, облегчающие разработку и отладку теплогидравлической модели, например:

* изменение изображения (цвета), в зависимости от состояния моделируемого оборудования;
* отображение ключевых параметров оборудования в числовом виде;
* вызов созданных заранее панелей управления оборудованием, размещенных в шаблоне схемы автоматики (в менеджере данных).

Таким образом, при дальнейшей работе со схемой, при расчетах, отладке и анализе результатов значительно облегчается визуальный контроль работы математической модели. Гидравлическая схема, кроме непосредственно расчетных элементов для расчетного кода, содержит ряд вспомогательных элементов, решающих следующие задачи:

* оформление внешнего вида, выполнение поясняющих надписей, обозначений, размещение немоделируемых систем (в данном случае мы не будем моделировать ОПУ и ТО БЭЖ);
* поддержка навигации между листами схемы в точках перехода трубопровода на другие листы модели;
* отображение ключевых параметров в процессе моделирования динамического процесса (давление в узлах схемы, расходы по трубопроводам, уровень в конденсаторе);
* поддержка ручного управления моделируемого процесса непосредственно с листа (например, ввод параметров расхода на вход конденсатора, задание требуемого уровня в конденсаторе);
* отображение датчиков, передающих текущие параметры моделируемой системы в базу данных сигналов и модель системы управления (датчик расхода и датчик уровня).

Использование в схеме стандартного блока «Регулирующий клапан» позволяет во время расчета математической модели вызвать стандартное окно управления (Рисунок 23). Используя это окно во время расчета, можно осуществлять воздействие на математическую модель. Также можно, например, отключить автоматическую систему управления и модель двигателя и вручную задать положение клапана во время расчета.

Внешний вид панели управления может быть произвольным образом изменен с тем, чтобы он соответствовал внутренним требованиям или полностью повторял внешний вид SCADA системы.

В данной тестовой задаче мы будем использовать готовый набор блоков с существующими панелями управления оборудованием.

|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 23 – Панель управления клапаном (типовая для ТРР) | Следующим действием будет создание местных сопротивлений на трубопроводах. Рассмотрим, где их необходимо поставить в соответствии с исходными данными, т.е. с исходной схемой (см. рисунок 9). Ясно, что местным сопротивлением, которое необходимо учесть, обладает дроссельная шайба на ветке «на рециркуляцию» на входе в главный конденсатор. Также явно указано что на пути к бойлеру есть местное сопротивление – учтем и его. Кроме этих двух сопротивлений, поскольку охладитель пара уплотнений (ОПУ) и теплообменник блока эжекторов в данном учебном примере мы не моделируем, заменим их также на местные сопротивления, чтобы упрощенно учесть их влияние на поток теплоносителя. Итого для листа 01 получаем четыре местных сопротивления:   1. На месте ТО БЭЖ, т.е. на канале **Ch\_04**; 2. На месте ОПУ, т.е. на том же канале **Ch\_04**; 3. На ветке «на рециркуляцию», канал **Ch\_05**; 4. На ветке в бойлер, т.е. к граничному узлу Р (на канале **Ch\_06**). |

Для реализации на схеме воспользуемся элементом «Местное сопротивление TPP»[[4]](#footnote-4). Разместите один из элементов на канале **Ch\_04** примерно там где расположен ТО БЭЖ на исходной схеме (рис. 9), убедитесь что канал **Ch\_04** автоматически стал владельцем местного сопротивления TPP и зайдите в свойства только что размещенного элемента (Рисунок 24). Замените значения свойств «Прямое сопротивление» и «Обратное сопротивление» на число **388** и нажмите кнопку **Ок**.

На том же канале, только ближе к клапанам «К1А» и «К1В», разместите еще одно местное сопротивление TPP, в свойствах которого значения сопротивлений (прямого и обратного) измените на «**777**». Кроме этого, поверните данный элемент на 90 градусов и убедитесь, что владельцем данного сопротивления также является канал **Ch\_04**.

|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 24 – Свойства местного сопротивления TPP «Ksi5». | Разместите еще два местных сопротивления на каналах **Ch\_08** и **Ch\_06** - им автоматически присвоятся имена наподобие «Ksi7» и «Ksi8». Проверьте владельцев размещенных сопротивлений и в свойствах каждого из сопротивлений укажите значения:   * «**1**» - для дроссельной шайбы, * «**280**» - для сопротивления к бойлеру.   Полученный результат сравните с рисунком (Рисунок 25) и, прежде чем двигаться дальше, уделим немного внимания внешнему виду схемы. |

Во-первых, синие каналы общего вида могут перекрывать узлы – как внутренние, так и граничные, так и узлы бака – это произошло оттого что каналы мы размещали на схеме позже узлов. Для придания внешней красоты схеме следует все узлы выдвинуть на передний план. Это делается следующим образом – выделяете какой-нибудь узел, нажимаете правой кнопкой мыши на него, и в появившемся контекстном меню выбираете пункт «выдвинуть вперёд». Проведите подобную операцию с каждым узлом на схеме (два граничных, три узла бака и три внутренних узла). Можно выделить все узлы и сделать это сразу для всех.

Рисунок 25 – Размещение четырех местных сопротивлений TPP

Во-вторых, для того чтобы подчеркнуть, что два из четырех местных сопротивлений размещены для моделирования ОПУ и ТО БЭЖ, давайте поверх них разместим (условно) картинки, которые будут обозначать соответствующие элементы. Для этого воспользуемся библиотекой элементов «Декоративные элементы» и выберем там элемент «Маска теплообменника 4» и «Маска теплообменника 6», которыми обозначим ТО БЭЖ и ОПУ соответственно (см. рис. 33). Измените свойство «Подпись блока» у каждой маски теплообменника – у первого на «ТО БЭЖ» и передвиньте вправо и вверх ее, у второго – на «ОПУ» и тоже разместите таким образом чтобы она не пересекала каналы (примерно как на рис. 33).

Аналогично подпишите другие местные сопротивления (например, как «Дроссельная шайба» или «ДШ» и «Местное сопротивление»).

Рисунок 26 – Декоративные элементы схемы TPP

Теперь разместим еще несколько элементов на схеме: в дальнейшем для системы управления нам потребуется значение расхода через ТО БЭЖ – для этого мы сейчас расположим на схеме элемент «датчик массового расхода в канале TPP»[[5]](#footnote-5). Кроме него, ознакомимся также с возможностью ручного задания некоторых параметров (граничных условий) непосредственно во время расчета – будем задавать расход подпитки в узле G, и поддерживаемый уровень в конденсаторе турбины.

Разместите на схеме на канале **Ch\_04** датчик массового расхода в канале TPP и переименуйте его «Имя точки контроля» на «G» (для этого надо выполнить двойной щелчок мышкой на изображении элемента после размещения его на схеме, аналогично как мы переименовывали датчик уровня в конденсаторе). Убедитесь что канал **Ch\_04** является владельцем вновь размещенного датчика (Рисунок 27).

|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 27 – Датчик массового расхода в канале TPP | Далее, поскольку мы разместили эти два датчика не для визуального контроля работы схемы, а для использования сигналов в алгоритмах системы управления, давайте «скроем» их со схемы в момент начала расчета – для этого зайдите в свойства какого-нибудь датчика и значение свойства «видимость при выполнении» измените на «нет». Аналогичную операцию проведите для другого датчика.  Для того чтобы осуществить возможность задания вручную значения массового расхода теплоносителя в граничном узле G, мы будем использовать механизм задания глобальных сигналов схемы и элементы из панели примитивов. Для вызова панели примитивов, воспользуйтесь пунктом меню «Вставка → Панель примитивов».  В появившейся панели выберите элемент «Редактор» и разместите его на форме справа от граничного узла G. |
| Рисунок 28 – Панель примитивов, элемент «Редактор» |

Еще один редактор разместите справа от конденсатора. Рядом с элементами редактора на форме «положите» по одному примитиву «Кнопка», взяв их из той же самой панели примитивов. Кнопки нам понадобятся для того чтобы вручную задавать значения расхода и уровня в строках редакторов, и после этого в нужный момент – по нажатию соответствующей кнопки – менять значение задаваемой величины. Над каждой группой «редактор+кнопка» сделайте текстовую заметку с начальными надписями «**Расход, т/ч = 30**» и «**Уровень, мм = 393**».

Теперь изменим некоторые свойства размещенных примитивов.

Значения свойств «Имя объекта» элементов «редактор» измените на **Fedit** и **Ledit**. Значения свойств «Числовое значение» - измените на «**30**» для расхода и «**393**» для уровня в конденсаторе.

Внешний вид схемного окна должен быть похож на рисунок (Рисунок 29).

Рисунок 29 – Примитивы на схеме TPP

Далее перейдите во вкладку «Параметры» и при помощи ключевых слов **initialization**…**end**; задайте значения по умолчанию для расхода и для уровня воды в конденсаторе (Рисунок 30), а также – следующие две строки – обработчик нажатий на кнопки. При выполнении этого проекта будет происходить следующее – на этапе инициализации переменным **Fzad** и **Lzad** будут присвоены значения по умолчанию, т.е. **30** и **393**. Далее на этапе расчета проекта, если пользователь будет нажимать какую-нибудь кнопку, то переменной Fzad (или Lzad) будет присваиваться значение из поля соответствующего «редактора», в зависимости от того какую кнопку нажмет пользователь. Имена кнопок для соответствия рисунку следует скорректировать на Button1 и Button2.

Пока что мы реализовали только изменение переменных **Fzad** и **Lzad**. Теперь, чтобы такое «ручное» изменение переменных имело смысл при выполнении проекта, необходимо данные переменные использовать в качестве значения соответствующих свойств граничного узла G и конденсатора.

|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 30 – Скрипт для листа РУК01 | Для граничного узла G необходимо значение свойства «Расход» задать как «Fzad\*1000/3600». Коэффициент 3.60 получается при переходе от размерности тонны в час к размерности кг/с.  Для конденсатора надо будет использовать переменную Lzad не в качестве значения свойства, а в качестве переменной в схеме автоматики – к этому этапу мы перейдем позже.  Таким образом, мы реализовали ручное управление некоторыми граничными параметрами схемы. Такой механизм очень полезен для отладки и проверки схемы. |

## Свойства блоков схемы TPP для листа РУК01

Перейдем к заданию свойств блоков, размещенных на листе РУК01, после чего наберем лист РУК02.

|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 31 – Свойства объекта «Граничный узел G» | Начнем с граничного узла G – тут нам понадобится задать и проверить правильность задания параметров «Расход, кг/с» и «Энтальпия, ккал/кг» (Рисунок 31). Значение расхода должно быть **Fzad/3.6**, энтальпии **30**. Все остальные параметры не меняем – оставляем все значения равными заданным по умолчанию.  У следующего элемента – граничного узла P – нам тоже следует поменять только одно свойство: «Давление» = «5.7». Остальное оставьте пока без изменений.  Перейдем к каналам общего вида. Согласно исходным данным, каждый канал (каждый участок трубопровода), каждый клапан имеет некоторое сопротивление – в соответствии с этим подобраны геометрические параметры и гидравлические сопротивления всех участков труб, в т. ч. и где расположены клапаны. Описание процесса подбора здесь не приводится, но его не трудно осуществить в автономном проекте, где канал моделируется с заданным перепадом давления и подбирается местное сопротивление для обеспечения заданного расхода. |

Зайдите в свойства канала **Ch\_01**, расположенного между узлом подпитки и конденсатором. Здесь менять ничего не надо – через него вода (или водяной пар) просто поступает к конденсатору без «сильного» сопротивления. Проверьте, что по умолчанию количество участков равно «1», гидравлический диаметр равен «0.1», длина и сопротивление равны единице.

В следующем канале, **Ch\_02**, уже следует поменять некоторые свойства. Во-первых, количество участков давайте зададим равным **2**, гидравлический диаметр каждого участка равен **0.5**, проходное сечение = **0.19635**. Поскольку в данном примере отсутствует расчет теплообмена, то свойства, которые относятся к теплообмену, можно не брать в расчет. Еще измените на **1** свойство «Шероховатость 1-й структуры» (Рисунок 33).

Перейдем к каналу **Ch\_03**. Здесь изменяем только гидравлический диаметр (**0.25**) и проходное сечение (**0.04909**). Отметим, что проходное сечение можно задавать и формулой, а именно: для нашего частного случая круглой трубы можно указывать выражение **(pi\*Self.Gidr\_D^2)/4** (Рисунок 34).

|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 32 – Свойства канала Ch\_01 | Рисунок 33 – Свойства канала Ch\_02 |
| Рисунок 34 – Свойства канала Ch\_03 | Рисунок 35 – Свойства канала Ch\_04 |

|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 36 – Параметры местного сопротивления (ТО БЭЖ и ОПУ, соответственно) на канале Ch\_04 | Переходим к каналу **Ch\_04**. В нем нужно сделать девять одинаковых участков (Рисунок 35). На канале расположены местные сопротивлени: первое местное сопротивление, которое замещает в нашей схеме ТО БЭЖ, разместим на **первом** участке, а второе сопротивление (аналог ОПУ) – на **пятом** участке (Рисунок 36).  Канал **Ch\_05** имеет особенность – на нем расположен клапан **К2**, у которого необходимо учесть местное сопротивление. Для улучшения «математики» расчета, т.е. численной схемы, здесь имеет смысл увеличить число участков (например, до 5), разместить клапан на первом участке и задать сопротивление для первого участка большее, чем для остальных. |

Чтобы набрать большое количество одинаковых участков, лучше воспользоваться специальным редактором «Параметры канала произвольной конфигурации», который можно вызвать, выполнив двойной щелчок по нужному каналу (Рисунок 37). В этом редакторе достаточно набрать характеристики одного участка и далее «размножить» их на необходимое число участков, воспользовавшись кнопкой в верхнем левом углу.

Рисунок 37 – Свойства канала Ch\_05

В первом приближении, для участка с клапаном сопротивление будет в **100** раз больше, чем для остальных участков – см. рис. После задания увеличенного сопротивления нужно убедиться, что клапан размещен на нужном участке. Для этого зайдите в свойства клапана и присвойте строке «Номер элемента в канале» значение, равное единице («1», это значение задано там по умолчанию).

В канале **Ch\_06** все относительно просто (Рисунок 38).

В канале **Ch\_07** задаем повышенное сопротивление для участка с клапаном.

Для канала **Ch\_08** создаем два особенных участка – один для клапана с местным сопротивлением = **200**, а четвертый участок – для элемента «местное сопротивление TPP», которое моделирует дроссельную шайбу. Последний участок сделаем более коротким и тонким (в соответствии с исходными данными).

Рисунок 38 – Свойства канала Ch\_06

Рисунок 39 – Параметры канала Ch\_07

Рисунок 40 – Параметры канала Ch\_08

|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 41 – Параметры объекта «Канал общего вида» | Не забудьте расположить клапан на первом участке, а сопротивление – на четвертом, зайдя в их свойства и указав нужный номер участка (как мы это сделали с ТО БЭЖ и ОПУ).  Теперь, задав все параметры всех каналов, перейдем к местным сопротивлениям. Для ТО БЭЖ и ОПУ мы уже задавали значения свойств, поэтому осталось задать значения сопротивлений для дроссельной шайбы и для сопротивления перед бойлером. В первом случае значение сопротивления установите равным единице (т.к. мы уменьшили диаметр трубопровода на данном участке, сопротивление уже будет выше чем у других участков), во втором случае значение сопротивления укажите как **562/2** - это значение было примерно подобрано для получения заданного перепада давления на этом участке.  Для контроля за схемой в процессе расчета, выведем на схемное окно значения некоторых расчетных параметров: для узлов нас будет интересовать давление (в каждом узле), для каналов – расход через каждый канал. Щелкните правой кнопкой мыши на любом канале и выберите пункт меню «Параметры объекта». В появившемся окошке выберите нужный параметр: **g (Массовый расход, кг/с)** и нажмите на верхнюю левую кнопку **Создать подписи** (Рисунок 41). |
| Рисунок 42 – Свойства подписи объектов |

Рисунок 43 – Схема с подписанными расходами в каналах и давлениями в узлах

В появившемся диалоге настраиваются свойства отображения выводимого параметра. Для примера, можно изменить строчную букву «g» на прописную букву «G» в поле «Текст подписи». Остальное менять сейчас не нужно – нас устраивают все свойства подписи, которые уже установлены по умолчанию (Рисунок 42).

Теперь на схемном окне появился новый элемент – **Textlabel7** (или аналогичное имя с другим номером на конце) с владельцем **Ch\_05**. Сейчас этот элемент показывает, что расход в канале равен нулю. Но при выполнении расчета – когда мы перейдем к режиму моделирования – этот элемент будет в интерактивном режиме показывать текущее значение расхода через канал. По аналогии, выведите **расход** для всех остальных каналов и **давление** для всех узлов схемы (кроме узлов конденсатора). Результат должен быть похож на Рисунок 43 – сравните. Другие подписи можно создавать так же как для первого канала, либо копированием и вставкой на другие каналы этого элемента TextLabel.

Теперь на листе 01 у нас в первом приближении все готово к расчету, кроме центрального элемента схемы – конденсатора. Откройте его свойства и приведите в соответствие с условиями задачи объемы, площадь сечения, давление и энтальпию в конденсаторе: Объемы первой, второй и третьей частей должны быть равны **1.0**, **2.0** и **30.0** соответственно. Давление = **0.1**, энтальпия = **30** и площадь сечения = **6.6**. Остальные параметры оставьте без изменения (Рисунок 44).

Осталось сделать последнее действие – вывести на схемное окно два параметра конденсатора для контроля расчета – нас будет интересовать давление и уровень в конденсаторе. Одновременно два параметра можно вывести, если их указать на двух строках рядом друг с другом (Рисунок 45).

На этом первоначальная настройка схемы (в т.ч. и задание значений свойств элементов) на первом листе закончена, можно перейти ко второму листу.

|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 44 – Свойства бака (компенсатора / конденсатора турбины) | Рисунок 45 – Вывод на экран двух параметров конденсатора |

## Набор схемы TPP на листе РУК02

После того как вы набрали схему на листе 01, следует собрать теплогидравлическую схему на листе 02. Она проще схемы первого листа и, для тренировки и закрепления материала, постарайтесь самостоятельно набрать ее примерно в том виде, как она представлена на рисунке (Рисунок 46).

Здесь следует разместить следующие элементы:

* пять внутренних узлов TPP,
* восемь соединительных каналов общего вида TPP,
* три «клапана обратных типовых»,
* три «насоса без привода» и
* три местных сопротивления.

Проверьте, что владельцами насосов, местных сопротивлений и клапанов являются соответствующие каналы. Свойства каждого насоса под названием «Имя объекта» во вкладке «Общие» переименуйте последовательно в **31АР1**, **31АР2**, **31АР3**.

Рисунок 46 – Второй лист схемы TPP, РУК02

После набора схемы второго листа, перейдем к заданию свойств каждого элемента, размещенного на схеме. Зададим здесь свойства элементов только верхней ветки, т.к. из-за равнозначности всех веток, на двух других ветках у элементов следует задать такие же свойства, как и на первой ветке.

Параметры четырех каналов (последовательно от входного порта к выходному) показаны на рисунках 48..51. Условно по ходу движения потока воды каналы названы **первый**, **второй**, **третий** и **четвертый**. Отличия каналов между собой только в гидравлических диаметрах: 0.5, 0.1, 0.15 и 0.25, соответственно. По диаметрам посчитаны площади проходного сечения. Количество участков по каналам: 1, 2, 2, 2. Приведите в соответствие с этими рисунками свойства каждого канала на схеме.

Рисунок 47 – Параметры «первого» канала на втором листе

Рисунок 48 – Параметры «второго» канала на втором листе

Рисунок 49 – Параметры «третьего» канала на втором листе

Рисунок 50 – Параметры «четвертого» канала на втором листе

|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 51 – Свойства клапанов на листе 02 | Теперь переходим к клапанам – их свойства будут одинаковы, за исключением того что третий клапан (нижний) мы выставим в начальное состояние «закрыт», т.к. одна из веток конденсатных насосов (в нашем случае это будет нижняя ветка) по условиям задачи – резервная. Свойства клапанов – Рисунок 51.  Перейдем к насосам. Здесь следует отметить, что насос – это расчетных элемент, который обладает особым свойством «Характеристика насоса». Значение этого свойства – имя файла, в котором в табличном виде задана напорная и др. характеристики насоса. Подробно на этом мы сейчас останавливаться не будем.  Отметим только, что файлы с характеристиками насосов находятся в папке **SimInTech\bin\DataBase\Простые насосы**, и нам следует выбрать характеристику насоса ЭКН-125-140 из файла «ЭКН\_125-140.tbl» (Рисунок 52). |

Данный файл был специально подготовлен по исходным данным ОАО «КТЗ». Редактор таблиц встроен в SimInTech, т.е. вы можете самостоятельно редактировать или создавать новые таблицы – для этого надо воспользоваться пунктом меню «Инструменты → Редактор таблиц». Там можно открыть файл с характеристикой насоса и посмотреть что он из себя представляет внутри, а также отредактировать его или на его основе создать новую характеристику для другого типа насоса и т.д. Сейчас на этом мы не будем заострять внимание – достаточно лишь краткого ознакомления с этим инструментом (Рисунок 53).

|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 52 – Файлы с характеристиками насосов | Для двух верхних насосов свойство «частота вращения» устанавливаем в единицу (Рисунок 54), нижний насос (резервный) оставляем с частотой вращения заданной по умолчанию, т.е. с «0». Заметьте, что при установке частоты вращения насоса, отличной от нуля, элемент «насос» на схеме меняет свой цвет с зеленого на оранжевый. Это происходит из-за того, что, как мы говорили ранее, в данном примере используется библиотека TPP, в элементы которой уже встроены интерактивные процедуры, облегчающие разработку и отладку теплогидравлической модели. Т.е. в данном случае изменение изображения (цвета) происходит для пользователя автоматически в зависимости от состояния моделируемого оборудования. |

Рисунок 53 – Редактор таблиц, напорная характеристика насоса

|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 54 – Свойства насоса на листе 02 | Рисунок 55 – Свойства местных сопротивлений на листе 02  Для элементов «Местное сопротивление» надо выставить значение сопротивления **50**, а также проследить за тем, что все сопротивления находятся на втором участке канала, т.е. не на одном участке с насосами – смотрите Рисунок 55. |

|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 56 – Свойства внутренних узлов на листе 02 | У элементов «внутренний узел» оставьте значения всех свойств без изменений, кроме одного: свойство «высотная отметка» следует установить в минус 20 (  Рисунок 56). Это нужно сделать во-первых, по условиям задачи, а во-вторых, с точки зрения расчета – расчет насосов происходит более устойчиво, когда на входе есть некоторый «запас» по давлению.  И последнее действие, которое нужно сделать на данном листе – это вывести на схему значение расходов для всех каналов, и значение давлений для всех узлов. Можно также показать на схеме положение клапанов («степень закрытия»). Для проверки сравните ваш результат с рисунком 65. |

Рисунок 57 – Лист 02 схемы TPP

На этом этап набора схемы TPP заканчивается, можно переходить к этапу моделирования.

# Расчет схемы TPP и создание регуляторов

## Моделирование теплогидравлики

В данный момент у нас набрана гидравлическая модель системы поддержания уровня в ГК турбины. Поскольку модели автоматики еще нет, то при расчете одной лишь схемы TPP все задвижки (клапаны) будут находиться без движения, т.е. точно в том положении, которое задано как начальное.

Чтобы проверить работоспособность схемы и правильность выполнения всех предыдущих действий, давайте зададим (примерно) стационарные значения положения клапанов для расхода подпитки **= 160 тонн в час**. Для сохранения всех параметров схемы более или менее постоянными (стационарными) при таком расходе, следует выставить (примерно) следующие положения клапанов: **40**% для К2, **40**% для К1В и **50**% для К1А.

Далее запустите схему на расчет, измените значение расхода с 30 т/ч на 160 тонн в час с помощью кнопки и текстового редактора, и посмотрите на изменение значений расходов в каналах, давлений в узлах и изменение уровня в конденсаторе. Если вы выполняли все верно по данной методике, то внешний вид в момент расчета должен примерно соответствовать рисунку (Рисунок 58, на рисунке представлен мгновенный снимок около 10-ой секунды расчета).

Заметьте, что положения клапанов не изменяются, и расходы в каналах и давления в узлах также остаются стационарными. Уровень в конденсаторе меняется в сторону снижения, т.к. выходной расход на бойлер больше входящего расхода в систему. Это происходит оттого, что мы установили клапана в стационарное значение для данного расхода. Если вы измените расход в ту или иную сторону, то уровень в конденсаторе будет расти или падать.

Например, попробуйте в какой-нибудь момент модельного времени изменить расход на **50 т/ч**. При этом расход подпитки снизится, но из-за неподвижности клапанов расход на бойлер останется на прежнем уровне и уровень воды в конденсаторе начнет постепенно снижаться.

Посмотрите на лист 02 – на нем, из-за того что нижний насос выключен, весь расход делится на две части между двумя верхними насосами. Перепад давления на насосах составляет примерно 11,5 МПа.

Рисунок 58 – Режим при расчете гидравлической модели с положениями арматуры 50, 40 и 40%

Данный вариант расчета является лишь «проверочным» для гидравлической модели. При выполнении у вас могут возникнут отличия из-за возможных рассогласований в задании сопротивлений либо диаметров/длин каналов.

Рисунок 59 – Режим при расчете гидравлической модели с положениями арматуры 50, 29 и 29% на 42 секунде

В модели на основе которой написано настоящее методическое пособие, пришлось установить положения задвижек К2 и К1В в 29% для того чтобы добиться состояния, близкого к стационарному, на момент расчета 42 секунды состояние приведено на рисунке (Рисунок 58). Дальнейшее изложение будет вестись на основе данной модели, у вас при выполнении могут быть отличия от неё.

Теперь следует создать схемы алгоритмов автоматики для исполнительных механизмов клапанов, чтобы поддержание заданного уровня происходило в автоматическом режиме.

## Создание схемы автоматики клапана К1А

Поскольку схему автоматики мы создаем для гидравлической модели и будем в дальнейшем их соединять друг с другом, то нам нужно создать базу сигналов, через которую и будет в дальнейшем происходить обмен данными между двумя проектами.

|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 60 – Подключение базы сигналов к проекту | Создайте новую схему автоматики: для этого выберите пункт меню «Файл → Новый проект → Схема автоматики». Для дальнейшей работы необходимо сохранить данную схему в файле с новым именем и в каталоге где создавалась модель гидравлики.  По умолчанию схемы математических моделей предназначены для автономной отладки и не содержат в себе базы данных сигналов. Однако к любой схеме в SimInTech можно подключить базу данных сигналов для организации внешнего взаимодействия с другими программами и векторной обработки сигналов. |

Подключение базы данных сигналов к схеме автоматики осуществляется следующим образом:

* 1. На схемном окне нажать кнопку «**Параметры проекта**».
  2. В появившемся диалоговом окне настроек перейти на закладку «Настройки».
  3. В строке редактирования «Модуль базы данных проекта» необходимо ввести следующий текст: $(Root)\sdb.dll (sdb.dll – имя динамической библиотеки программного модуля базы данных).
  4. В строке редактирования «Имя базы данных проекта» надо ввести произвольное имя файла для сохранения базы данных. Например: signals\_ktz.db (В случае, когда не прописывается полный путь к файлу, по умолчанию считается, что он расположен в том же каталоге, что и файл проекта).
  5. Закрыть диалоговое окно нажатием кнопки «Ок».
  6. Выполнить сохранение текущего проекта, нажав кнопку сохранить на главном окне программы.

После этих действий станет доступным пункт меню «Инструменты → База данных». Именно здесь и осуществляется работа по наполнению и редактированию базы данных сигналов – с помощью модуля «Редактор базы данных».

**Внимание!** Для проектов, в которых не используется база данных, данный пункт меню является недоступным. Чтобы получить доступ к этому пункту меню, необходимо выполнить последовательность действий, описанную в разделе Подключение базы данных сигналов.

После выбора пункта меню появляется диалоговое окно редактора базы данных проекта.

Более подробно интерфейс базы сигналов рассмотрен в 10 учебных заданиях.

Напомним здесь концепцию, заложенную в базу сигналов SDB, а именно: окно редактора содержит три основные панели:

* Категории
* Группы сигналов
* Сигналы и данные для групп.

Панель «Категории» содержит **список типов** объектов, которые могут быть помещены в базу данных. Например, БУЗ – блок управления задвижкой.

Панель «Группы сигналов» содержит **список объектов**, соответствующих выбранному типу (категории), имеющийся в базе данных проекта. Например, **1L01AS1** – код конкретной задвижки, существующий в базе данных и математической модели объекта. Под объектом подразумевается группа сигналов, отнесенная к этому объекту.

Панель «Сигналы и данные для групп» содержит **таблицу с сигналами**, соответствующими конкретной группе сигналов, выбранной в панели Группы сигналов.

Пользователь может самостоятельно создавать, редактировать и удалять новые категории объектов, состав объектов в каждом проекте, а также список и значение сигналов.

Рисунок 61 – Окно редактора базы данных проекта

По умолчанию для вновь создаваемого проекта, все панели редактора не содержат элементов. Пользователь может как самостоятельно наполнить базу данных, так и осуществить считывание файла с уже существующей базой данных.

Добавление новой категории осуществляется следующим образом: пользователь должен нажать кнопку «Добавить категорию» в нижней части панели. После этого в списке категорий появляется новая запись «Новая категория».

Двойной клик на элементе «Новая категория» открывает диалоговое окно редактирования категории (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**). В данном диалоговом окне пользователь заполняет таблицу сигналов, которые соответствуют выбранной категории. Например, для задвижки это могут быть вещественное значение положения штока, двоичное значение сигнала «открыта» или «закрыта» и т. д.

В данной учебной методике мы **не будем** создавать полностью алгоритм управления всеми клапанами – нам важно разобраться и понять принцип построения моделей и схем автоматики и каким образом схему автоматики можно связать с проектом гидравлической модели через базу данных.

В процессе создания гидравлической модели мы создали два датчика – один измеряет расход в канале через ТО БЭЖ, другой – уровень воды в конденсаторе. Давайте для наших учебных целей и для наглядного примера на основе показания одного из датчиков (расходомера на ТО БЭЖ) создадим учебный алгоритм управления клапаном К1А. **Сигналы в базу данных заводите самостоятельно, основываясь на дальнейших рисунках.**

Алгоритм построим на простейшей схеме – будем сравнивать показание датчика с заданным расходом, и в зависимости от рассогласования заданного и текущего расхода – алгоритм будет подавать сигналы на закрытие или открытие клапана. Чтобы обмениваться сигналами между гидравлической схемой и схемой автоматики, нам потребуется на схеме гидравлики записывать в базу данных значение расхода через ТО БЭЖ, на схеме автоматики – считывать его из базы данных, и, на основе алгоритма управления, вырабатывать сигналы на закрытие и/или открытие клапана. Исполнительный механизм будем моделировать простейшим интегратором с ограничением (от 0 до 100%).

|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 62 – Субструктура с алгоритмом автоматики | Для начала, давайте вернемся к окну схемы автоматики, разместим на нем первую субструктуру, которую следует подписать как «Управление и модель клапана К1А» (Рисунок 62) и разместить внутри субструктуры два элемента – элемент чтения из списка сигналов и элемент записи в список (Рисунок 63).  Теперь следует указать, какой именно сигнал мы читаем из базы данных и какой записываем. Зайдите в свойства элемента «Чтение из списка сигналов». Следует изменить свойство «Имена сигналов». Для этого воспользуйтесь кнопкой слева внизу диалогового окошка свойств (кнопка называется «Найти значение в базе»). В следующем окне надо выбрать категорию «Датчики», далее датчик расхода «G» и имя сигнала «XQ02» (создайте предварительно этот сигнал в БД!). |

По нажатию на кнопку «Добавить», появится новая строка в этой табличке. Таким образом мы выбрали сигнал, который будет прочитываться из базы данных на каждом шаге расчета схемы. Обратите внимание, что имя сигнала состоит из названия объекта, затем символ подчеркивания и название сигнала в объекте – в нашем случае сигнал называется «G\_XQ02».

|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 63 – Элементы чтения и записи в список сигналов | Для записи сигнала «Положение клапана К1А» в базу данных, нам сначала следует создать объект К1А в базе данных. Если вы еще не создали категорию «Задвижки», создайте её, и затем добавьте в базу данных один объект такого типа с названием «К1А» или сразу все (три) задвижки.  После этого в свойствах элемента «Запись в список сигналов» выберите сигнал «Положение» у объекта «К1А» (название сигнала – K1A\_XQ01). Теперь схема автоматики должна иметь вид, представленный на рисунке (Рисунок 65). |

Рисунок 64 – Добавление сигнала расхода в схему автоматики

|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 65 – Запись и чтение из списка сигналов, заполненные | Что касается передачи сигналов в схему автоматики и из нее в базу данных – это все, но остался еще один момент - нам нужно связать значение положения клапана в базе данных и в объекте на гидравлической схеме. Перейдите в окно гидравлической схемы, подключите её также в базе сигналов если она еще не подключена, и зайдите в свойства клапана К1А. Там выберите свойство «Положение, %», нажмите кнопку внизу слева «Найти значение в базе данных» и в появившемся окне базы данных найдите сигнал «К1А\_xq01». |

Добавьте этот сигнал в таблицу «Выбранные данные» и нажмите кнопку «Ок». Теперь значение положения клапана для схемы TPP будет считываться из базы данных на каждом шаге синхронизации.

Давайте еще раз рассмотрим в целом, как работает база данных. Вообще говоря, база данных представляет собой просто массив сигналов (таблицу) в памяти SimInTech, в которой записан сплошной список сигналов. Условно этот список классифицируется на типы объектов и объекты со «своими» сигналами. Когда мы разместили на схеме TPP датчик расхода и уровня воды в конденсаторе, то в базе данных появилось два новых сигнала (две новые строки в общей таблице сигналов). Это произошло автоматически без нашего участия (данный нюанс может изменяться в зависимости от версии ПО) – мы просто разместили элементы на схеме TPP. Далее в другом проекте – в схеме автоматики, мы с помощью элемента чтения сигнала из списка «вытаскиваем» значение нужного нам сигнала (расход через ТО БЭЖ), и сейчас будем его использовать для сравнивающего устройства в схеме автоматики. На выходе из схемы автоматики мы формируем сигнал, который будет характеризовать положение клапана К1А, и значение этого сигнала мы записываем в базу данных (пока еще не в схему TPP, а просто в общую таблицу сигналов записываем значение положения клапана TPP). Далее уже на схеме TPP мы используем значение этого сигнала – положение клапана К1А – для соответствующего свойства клапана. Важно помнить, что для того чтобы такая схема работала, нужно чтобы оба проекта использовали общую базу данных сигналов (в нашем случае это файл **signals\_ktz.db**).

Вернемся снова к схеме автоматики – нам нужно набрать упрощенную схему управления исполнительным механизмом клапана К1А (включая и сам механизм). Попробуйте самостоятельно набрать схему, как показано на рисунке:

Рисунок 66 – Схема управления клапаном К1А, первая версия

Рассмотрим алгоритм действия данной схемы: сигнал с датчика расхода сравнивается с заданным значением расхода и разница (рассогласование) подается на усилитель с подобранным коэффициентом усиления (точнее ослабления, прикидочное значение = 0,5). Далее ослабленный сигнал рассогласования, поступает на ПИД-регулятор (также с подобранными коэффициентами) и сумма выходов ПИД-регулятора передается в релейный блок с зоной нечувствительности (величину зоны можно установить в +1, -1, зона возврата = 0,5). Если на выходе из релейного блока сигнал равен 0, то клапан находится без движения. Если после реле сигнал «-1», то как бы подается сигнал «Закрыть», если «+1», то – «Открыть». Интегратор с ограничением моделирует исполнительный механизм (двигатель) клапана.

Таким образом реализован простейший алгоритм, поддерживающий заданный расход через ТО БЭЖ. В реальности, конечно, схема может быть сложней, в т.ч. состоять из нескольких листов и использовать субструктуры. Для наших целей пока что это не нужно, а важно понять, что проект автоматики работает как еще один расчетный слой, параллельно проекту гидравлики TPP, и эти два проекта (расчетных слоя) могут обмениваться сигналами через базу данных.

Давайте зададим нужные коэффициенты на схеме алгоритма, ниже последовательно перечислены свойства элементов, которые нужно задать:

* Уставка для расхода через ТО БЭЖ: **30** (свойство «а» элемента «Константа»).
* Сравнивающее устройство: **[1, -1]**.
* Общий коэффициент усиления: **0.5** (первое приближение).
* ПИД, коэффициент усиления: **2**.
* ПИД, интегратор: **0.07**.
* ПИД, инерционно-дифференцирующее звено: коэффициент **5**, постоянная времени **3**, начальные условия **0**.
* Сумматор: **[1,1,1]**.
* Реле с зоной нечувствительности: «**-1**», «**-0.8**», «**0.8**», «**1**», «**-1**», «**1**».
* Интегратор с ограничением: «**100/25**», «**0**», «**100**», «**75**».

Данные параметры подобраны таким образом, чтобы система автоматики клапана «К1А» поддерживала на стационарном уровне расход через ТО БЭЖ, т.е. на уровне «30», как это и происходит в нашем расчете гидравлической схемы с расходом подпитки «160». Подчеркнем, что сейчас в нашу задачу не входит полное создание схемы автоматики, нам нужно научиться создавать и понимать механизм параллельной (совместной) работы двух проектов через общую базу данных.

Интегратор с ограничением моделирует двигатель клапана, с быстродействием ~ 4% в секунду, или (что тоже самое) время полного открытия = 25 секунд.

Релейное звено моделирует в нулевом приближении блок управления клапаном.

Представленный регулятор обладает рядом несовершенств, которые мы устраним позже.

## Совместный расчет схемы TPP и автоматики

Теперь, когда готов один алгоритм (для клапана «К1А»), можно запустить совместный расчет двух проектов. Для этого необходимо чтобы в одном «pak»-файле были объединены два наших проекта. Сделайте это, при помощи кнопки «Добавить проект» на панели проектов, если пока что еще не сделали:

|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 67 – Пакет проектов (схема TPP и автоматики). | После добавления, можно по прежнему работать с каждым проектом отдельно в своем схемном окне, а также запускать на расчет каждый проект отдельно друг от друга. Но если вы хотите расчитать две схемы одновременно, необходимо запускать расчет кнопкой из окошка группы проектов (зеленая кнопка «Запустить все», Рисунок 67). |

При запуске пакета проектов на расчет, в процессе расчета можно увидеть, что клапан «К1А» уже не находится в стационарном начальном положении «75%», а управляется схемой автоматики и движется в сторону открытия или закрытия.

Если вывести значение расхода и положение клапана на графики, то вы увидите примерно такую картину, как на рисунках (см. Рисунок 68 и Рисунок 69).

|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 68 – положение клапана К1А | Схема регулирования имеет один большой недостаток --- поскольку измеренный расход никогда не будет в точности равен заданному, то рассогласование всегда будет ненулевым и, поступая на вход в интегратор (И-ветка регулятора), будет увеличивать или уменьшать значение на выходе интегратора. Таким образом, через какие-то промежутки времени величина накопленная на интеграторе превысит зону нечувствительности в реле и клапан будет совершать (периодически) движения то в одну сторону то в другую, пытаясь найти оптимальное положение. Но он никогда его не найдёт.  Для корректировки этого недостатка можно использовать разные приёмы – либо периодически сбрасывать значение интегратора, либо ввести управляющее реле на входе в интегратор, т.е. осуществлять регулирование не «точным» образом, а с каким-то наперёд указанным допуском.  Вы можете сами поэкспериментировать с этим и увидеть, как влияет релейное звено поставленное на вход, на процесс регулирования.  Таким образом, мы ознакомились с возможностями SimInTech создавать гидравлические схемы и схемы автоматики для совместной работы. |
| Рисунок 69 – расход через ТО БЭЖ |

## Создание схемы автоматики клапана К1В и К2

Пока в модели задействована автоматика только одного клапана (**К1А**), вы не можете запускать расчет всех динамических режимов – с изменением расхода подпитки. Чтобы схема полностью была работоспособна – необходимо также «управляющее устройство» для остальных клапанов.

Давайте создадим схему алгоритма управления для клапанов **К1В** и **К2** по аналогии с уже созданной схемой для клапана К1А. Для этого вернитесь на верхний уровень схемы автоматики, добавьте на нее еще две субструктуры SimInTech и переименуйте каждую из них в соответствии с рисунком. ИЛИ можно скопировать существующую субмодель – так будет проще.

|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 70 – Верхний уровень схемы автоматики | Алгоритмы управления клапанами **К1В** и **К2** в настоящем пособии будут похожи на алгоритм управления клапаном **К1А** – они будут основаны на применении ПИД-регулятора и рассогласовании значения уровня в конденсаторе и заданного значения уровня (393 мм или 0,393 м). Поэтому, для ускорения набора каждой из схем, можно просто скопировать схему автоматики из первой субструктуры во вторую и в третью (либо скопировать саму субмодель).  Попробуйте самостоятельно изменить на вновь скопированной схеме все нужные элементы таким образом, чтобы новая схема управляла клапаном **К1В**. |

Для этого необходимо выполнить следующие шаги:

1. В базе данных создать Задвижку с именем **К1В** (создайте и **К2** для следующей схемы автоматики).
2. На схеме TPP в свойствах клапана К1В изменить значенеи свойства «Положение» таким образом, чтобы оно считывалось из базы данных.
3. На схеме автоматики изменить уставку на «**0.393**» и сравнивать ее с сигналом от датчика **KL**.
4. Положение клапана записывать в базу данных для клапана **К1В**, т.е. надо изменить имя сигнала на выходе схемы автоматики.
5. Задать следующие параметры: коэффициенты усиления для усилителей равны «**-1**» (общий коэффициент) и «**5**» соответственно (П-ветка). Коэффициенты для интегратора: «**0.5**», для инерционно-дифференцирующего звена: «**600**» и постоянная времени «**7**».
6. Параметры зоны нечувствительности: «**-0.2**», «**-0.2**», «**0.2**», «**0.2**».
7. Остальные элементы остаются со значениями, как и для клапана К1А.

Этими шагами мы создали схему автоматического управления клапаном К1В на базе схемы для клапана К1А. Далее нужно провести те же действия для создания схемы автоматики для клапана **К2**, только с несколько отличными от схемы К1В коэффициентами, а именно:

1. Задать следующие параметры: коэффициенты усиления для усилителей равны «**-1**» и «**10**» соответственно. Коэффициент для интегратора: «**1**», для инерционно-дифференцирующего звена: «**500**» и постоянная времени «**11**».
2. Параметры зоны нечувствительности: «**-1**», «**-1**», «**1**», «**1**».
3. Остальные элементы остаются со значениями, как и для клапана К1В.

Таким образом, вы настроили автоматику клапана К1В более чувствительной к изменениям уровня в конденсаторе по сравнению с клапаном К2.

Можно приступать к моделированию не только стационарного, но и переходных режимов схемы, поскольку мы доработали систему автоматики для всех клапанов и уровень в конденсаторе должен поддерживаться автоматически при различных расходах подпитки.

## Расчет некоторых динамических режимов

|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 71 – Режим 1, график уровня в конденсаторе | Чтобы излишне не загромождать данную методику, здесь приведены графики расчета двух режимов:  1) Постоянный расход подпитки 160 т/час,  2) Увеличение расхода с 30 до 160 т/час и снижение обратно – до 30 т/час. Во втором случае увеличение и снижение расхода проведено скачкообразно при помощи соответствующей кнопки на схеме TPP.  Графики первого режима приведены на рисунках (Рисунок 71, Рисунок 72, Рисунок 73).  Как видно из этих рисунков, созданная нами система управления поддерживает уровень в конденсаторе в заданных пределах, но при этом происходит перерегулирование и «дребезжание» клапана К1В, из-за чего уровень в конденсаторе не может выйти точно на заданное значение и колеблется около 393 мм. Это происходит из-за несовершенства алгоритма управления и подобранных коэффициентов регуляторов. То есть системе управления нужна доработка.  Из-за скачков клапана происходит и резкое изменение расхода через ТО БЭЖ, и, как следствие, клапан К1А пытаеся также «подстроиться» для того чтобы через ТО БЭЖ обеспечить заданный расход в 30 кг/с.  Но, из-за постоянного и непрекращающегося интегрирования рассогласования в регуляторе, происходит периодическое изменение команды на двигатель клапанов и перерегулирование. |
| Рисунок 72 – Режим 1, график расхода теплоносителя через ТО БЭЖ |

|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 73 – Режим 1, график положения клапанов |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 74 – Режим 2, график уровня в конденсаторе | Давайте теперь рассмотрим **режим 2** – со следующим изменением расхода подпитки: 30 т/час → 160 т/час → 30 т/час. На графике уровня воды (Рисунок 74) видны небольшие изломы – в моменты времени ~150 с и ~420 с – именно в эти моменты происходило скачкообразное увеличение и уменьшение расхода подпитки. Но, поскольку в системе управления используется дифференциальное звено, которое практически мгновенно реагирует на изменение данного параметра, то клапаны К2 и К1В в эти моменты времени соответственно отреагировали на изменение расхода – сначала клапаны открылись (до 40 и 100 % соответственно), а затем закрылись (клапан К2 до 30%, клапан К1В вернулся к «колебаниям»).  Расход через ТО БЭЖ также на протяжении всего расчета остается примерно на заданном уровне около 30 кг/с. |
| Рисунок 77 – Режим 2, график расхода теплоносителя через ТО БЭЖ |

|  |
| --- |
| Рисунок 78 – Режим 2, график положений клапанов |

Вы можете самостоятельно проводить расчеты других режимов, изменяя расход подпитки произвольно от 0 до 230 т/час и/или изменяя уставку по уровню воды в конденсаторе, а также выводить на графики любые другие параметры схемы и анализировать полученные результаты. Данный учебный пример на этом завершен, но, вообще говоря, его можно использовать как хорошую базу для создания полноценной системы управления для регулятора уровня конденсата в конденсаторе.

1. Библиотека «Технологические блоки», класс «Баки» [↑](#footnote-ref-1)
2. Библиотека «Датчики», элемент «Датчик уровня в КО TPP» [↑](#footnote-ref-2)
3. Библиотека «Технологические блоки», класс «Узлы», элемент «Внутренний узел» [↑](#footnote-ref-3)
4. Библиотека «Технологические блоки», класс «Арматура» [↑](#footnote-ref-4)
5. Библиотека элементов «Датчики» [↑](#footnote-ref-5)