Методика создания учебно-демонстрационной задачи

в среде ПК «МВТУ-4» по теме:

«Поддержание уровня в главном конденсаторе турбины»

Москва, 2008

Оглавление

Введение 3

1 Постановка задачи 4

1.1 Принципиальная схема 4

1.2 Описание работы системы 4

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 9

3.1 Создание нового пакета проектов 9

3.2 Создание новой теплогидравлической схемы TPP 10

3.3 Создание схемы регулирования уровня конденсата в конденсаторе 19

3.4 Параметры схемы TPP для листа РУК01 36

3.5 Набор схемы TPP на листе РУК02 44

4 Расчет схемы TPP 50

4.1 Моделирование теплогидравлики 50

4.2 Создание схемы автоматики клапана К1А 51

4.3 Совместный расчет схемы TPP и автоматики 59

4.4 Создание схемы автоматики клапана К1В и К2 61

4.5 Расчет некоторых динамических режимов 63

# Введение

На примере практического использования программного комплекса «МВТУ-4» в процессе проектирования турбинных установок для решения тестовой задачи по оценке динамических процессов в системе регулирования уровня конденсата на одной из турбин, разрабатываемой ОАО «КТЗ», показаны уникальные возможности комплекса.

По сравнению с пакетом математического моделирования MATLAB (модуль Simu-link) компании The MathWorks (USA), используемым ОАО «КТЗ» для решения приклад-ных задач проектирования, ПК «МВТУ–4» 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 методическое описание создания демонстрационного расчетного примера «с нуля». Начиная с чистого листа, шаг за шагом изложен процесс набора расчетной схемы в ПК «МВТУ-4» и объяснен механизм получения результатов, вывода их на графики, корректировки схемы и анализа полученных результатов.

# 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 А.

|  |
| --- |
| *ГК*  *ТО БЭЖ*  *ЭКН*  *(*  *3*  *шт*  *)*  *К*  *2*  K  1  A  K  1  B  Н  на рециркуляцию  *УУ*  *ДШ*        *ОПУ*  *G*  *=*  *0*  *...*  *230*  *т*  */*  *ч*  *Местн*  *.*  *Сопр*  *.*  *Бойлер*  5.7  *атм*    3.6  *атм*    *c*  *ab*  *b*  *a* |
| Рисунок 1 – Принципиальная схема системы регулирования уровня в ГК |
| Обозначения на схеме:  ГК – главный конденсатор;  ТО БЭЖ – теплообменники блока эжекторов;  ЭКН – блок электроконденсатных насосов (3 насоса 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, сопровождающемся 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, а “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 т/ч. Уровень воды в конденсатосборнике при этом должен поддерживаться в диапазоне 393±75 мм.

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

|  |
| --- |
| рисунок+02 |
| 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.

## Дополнительные данные

Для создания модели использованы следующие дополнительные исходные данные:

1) гидравлические сопротивления компонентов схемы:

ТО БЭЖ 0,3 атм при 100 м3/ч

ОПУ 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 принят 9 м (реально изменяется в широких пределах)

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 ПК МВТУ–4 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. Теплогидравлическая модель.
2. Блоки управления оборудованием.
3. Модель алгоритмов.
4. База данных.

**Теплогидравлическая модель** создается средствами ПК «МВТУ–4». 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 поставку ПК «МВТУ-4».

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-01 |
| 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 ПК «МВТУ-4» 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», «Схема СОКРАТ» или «Схема теплогидравлики МВТУ».

В нашем случае, поскольку для расчета понадобится и теплогидравлическая модель, и схемы автоматики, и схема TPP, нам следует выбрать пункт «Пакет». При выборе этого пункта меню появляется диалоговое окошко управления проектом «Пакет проектов» (см. рис. 4.

|  |
| --- |
| рисунок-02 |
| Рисунок 4 – Диалоговое окно «Пакет проектов» |

Как видно из рисунка, при создании нового проекта, 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» (см. рис. 4) и выбрав пункт меню «Сохранить как», мы можем сохранить в нужную папку наш 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 ПК «МВТУ-4» используется два стандартных расширения для имен файлов:

* расширение \*.pak – для файлов типа «Пакет проектов» (только что созданный файл был именно такого типа);
* расширение \*.prt – для файлов типа «Проект» (далее все другие файлы нашего пакета проектов будут иметь именно такое расширение).

|  |
| --- |
| рисунок-03 |
| Рисунок 5 – Диалог сохранения пакета проектов |

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 6 – Сохраненный в С:\KTZ пакет проектов. |

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 схему и зададим параметры элементов. Пользователю будет достаточно представить математическую модель в виде привычной технологической схемы. Для расчета схемы воспользуемся сертифицированным теплогидравлическим кодом TPP, входящим в стандартную поставку ПК «МВТУ-4».

Для того чтобы создать схему TPP, аналогично созданию пакета проектов, выберем пункт меню «Файл → Новый проект» и далее нажмем левой кнопкой мыши на слова «Схема TPP». При этом у нас 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 окна ПК «МВТУ-4» будет примерно похож на рисунок 7.

|  |
| --- |
| рисунок-05 |
| Рисунок 7 – Новый проект типа «Схема TPP». |

Как видно из рисунка, для схемы TPP доступны только пять библиотек элементов – «субструктуры», «технологические блоки», «контроль параметров», «датчики» и «декоративные элементы». Все остальные элементы и библиотеки элементов скрыты от пользователя и не показаны, так как на схеме TPP можно 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», см. рис. 8) 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.

|  |
| --- |
| рисунок-06 |
| Рисунок 8 – Диалоговое окно сохранения проекта. |

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 ПК «МВТУ-4» автоматически открывает схемные окна всех проектов пакета. При этом следует различать принцип открытия двух схемных окон – одно открыто непосредственно в среде самой ПК «МВТУ-4», 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 (см. рис. 10).

|  |
| --- |
| tt |
| Рисунок 9 – Принципиальная схема регулирования уровня конденсата в главном конденсаторе |
| Обозначения на схеме:  ГК – главный конденсатор;  ТО БЭЖ – теплообменники блока эжекторов;  ЭКН – блок электроконденсатных насосов (3 насоса 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. |

|  |
| --- |
| рисунок-08 |
| Рисунок 10 – Теплогидравлическая расчетная схема, набранная в ПК «МВТУ-4» на одном экране |

Для демонстрации возможностей пакета ПК «МВТУ–4» расчетную схему (математическую модель) 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 ПК «МВТУ-4». 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 11.

|  |
| --- |
| рисунок-09 |
| **Рисунок 11 – Верхний уровень расчетной схемы** |

Для создания этих двух листов следует выполнить следующие простые действия над открытым схемным окном:

* 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 ПК «МВТУ-4» 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.

Так как по умолчанию свойства элементов одинаковые, в результате вы получите две субмодели TPP, размещенные на схеме одна под другой и имеющие одинаковые названия[[1]](#footnote-1), т.е. внешне это будет выглядеть как две копии одного элемента библиотеки «Субструктуры» (см. рис. 12). Теперь приступим к редактированию свойств размещенных субмоделей TPP.

|  |
| --- |
| рисунок-10 |
| Рисунок 12 – Две новые субмодели TPP. |

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 ПК «МВТУ-4». 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» (см. рис. 13).
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 ПК «МВТУ-4».

Независимо от способа, в результате должно появиться окно свойств выбранного объекта (см. рис. 14) – 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» вместо «KBA - система уплотнений ГЦН» напишите «РУК - система регулирования уровня в главном кондесаторе»;

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

– в строке «Имя листа» вместо «02» 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 конденсата) 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.

Возможные элементы навигации по расчетной схеме в режиме редактирования и моделирования представлены на рисунке 15 (к этому моменту мы еще вернемся позднее).

|  |
| --- |
| рисунок-11 |
| Рисунок 13 – Контекстное меню - свойства объекта |

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 ПК «МВТУ-4», 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 |
| Рисунок 14 – Свойства субмодели TPP. |

|  |
| --- |
| brouser_window |
| Рисунок 15 – Схемное окно модели с элементами навигации по схеме. |

|  |
| --- |
| рисунок-14 |
| Рисунок 16 – Текстовый редактор, встроенный в ПК «МВТУ-4». |

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.

|  |
| --- |
|  |
| **Рисунок 17 – Окно «общих» свойств субмодели TPP** |

## Создание схемы регулирования уровня конденсата в конденсаторе

Схема регулирования уровня конденсата, приведенная на рисунке 10, является практически полным визуальным аналогом принципиальной схемы, предоставленной ОАО «КТЗ» в качестве условия тестовой задачи (см. рисунок 9).

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 ПК «МВТУ-4» в проектно-конструкторских организациях.

К настоящему времени существует несколько программных решений, позволяющих осуществлять автоматизированное создание расчетной схемы по уже имеющейся технической документации. В пакете ПК «МВТУ-4» возможно создание расчетной схемы, аналогичной изображенной на рисунке 9, с использованием в качестве исходных данных чертежей, выполненных в формате AutoCAD, что значительно сокращает время разработки математической модели гидравлической системы.

Кроме автоматизации процесса создания расчетных схем в ПК «МВТУ–4» 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, и 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 связями); 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 рисунке 10.

Первый элемент, который мы разместим – это 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 ПК «МВТУ-4». После этого вы увидите, что вместо десяти 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 как бы 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 четырьмя типами узлов (внутренний узел, граничный узел Р, граничный узел G, узел конденсатора), 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 (см. рис. 18), 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 МВТУ-4 представлены как синие точки, однако к узлам Р и G (т.е. к соответствующим точкам) присоединяется дочерняя «иконка» - оранжевый шестиугольник и 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 точку.

Следующим, вторым элементом, будет узел G, через который будет поступать расход в конденсатор турбины. Для этого снова одним щелчком мыши на панели инструментов МВТУ-4 «заходим» в класс элементов «узлы» и выбираем элемент «Граничный узел G». Разместите его на схеме в правой верхней части (см. рис. 19).

|  |
| --- |
| рисунок-16 |
| Рисунок 18 – Граничный узел Р |

|  |
| --- |
| рисунок-17 |
| Рисунок 19 – 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 нажмине 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 (см. рис. 20).

|  |
| --- |
| рисунок-18 |
| Рисунок 20 – Узлы Р и G. |

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 (см. рис. 21). Как видно из рисунка, бак по умолчанию тоже является «двойным» объектом – помимо его изображения появилась еще и черная точка «NodeK10» – 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»[[2]](#footnote-2). Сравните полученный результат с рисунком 22 – 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 связи.

К баку как «дочерний» добавьте еще один элемент – датчик контроля уровня[[3]](#footnote-3) 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-19 |
| Рисунок 21 – Трехобъемный бак размещен на схеме. |

.

|  |
| --- |
| рисунок-20 |
| **Рисунок 22 – Три узла бака – черные точки.** |

Теперь разместим порты перехода с одного листа на другой – выберите элемент «Переход на другой лист TPP»[[4]](#footnote-4) и элемент «Переход с другого листа TPP» и разместите их на схеме ниже и правее модели конденсатора турбины. После этого, последовательно заходя в свойства одного и другого элемента, измените свойство «текст» у каждого на «01-А» и «02-А» соответственно. Кроме этого, создайте поясняющие надписи[[5]](#footnote-5) к этим элементам - «К блоку ЭКН» и «От блока ЭКН» (см. рис. 23).

Вообще говоря, 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.

|  |
| --- |
| рисунок-21 |
| Рисунок 23 – Порты перехода с листа на лист TPP. |

Теперь следует соединить переход с листа 01 со входом на лист 02 и наоборот – выход с листа 02 соединить с входом на лист 01. На самом деле порты перехода с листа на лист – это субструктуры, внутри которых использован блок «В память» и «Из памяти». Выполните щелчок правой кнопкой мыши на элементе «01-А» на листе 01 и выберите «Действия → Войти в субмодель». Далее, перед вами появится содержимое субмодели: элементы «Вход» и «В память TPP» (последний выделен желтым цветом). Переименуйте имя второго элемента в «01-А». Именно это имя является именем переменной в памяти МВТУ. Теперь надо аналогично переименовать внутри элемента «02-А» элемент «Из памяти TPP». Несколько позже на листе 02 мы разместим два аналогичных элемента перехода и внутри них также переименуем элементы «В память» и «Из памяти» – только там блок «Из памяти» будет называться «01-А», а блок «В память» - «02-А».

Следующий шаг – добавим необходимые «внутренние» узлы TPP[[6]](#footnote-6), то есть те, которые расположены на внутренних «тройных» соединениях труб на схеме – это будут узлы с автоматически присвоенными именами «U25», «U26» и «U27». Первый узел (U25) разместите слева от конденсатора, точнее – на некотором расстоянии слева от узла «NodeK13». Позже мы разместим клапан между этими узлами.

Второй внутренний узел (U26) разместите левее и на некотором расстоянии от порта перехода «02-А». Позже от этого узла мы сделаем разветвление труб – одна гидравлическая связь пойдет к ТО БЭЖ, другая – к бойлеру. Третий внутренний узел (U27) разместите снизу и правее бойлера, или, с другой стороны, левее узла «U25».

Теперь перейдем к созданию линий связи между узлами. В библиотеке «Технологические блоки» выберем класс «Каналы» и в данном проекте мы будем пользоваться только элементом «канал общего вида». Для соответствия данного описания и вашего проекта, проводите соединительные линии в указанной ниже последовательности:

– проведите канал общего вида от нижнего узла бака к порту перехода на другой лист TPP (см. рис. 24 – одновременно проверьте правильность расположения внутренних узлов), при этом автоматическое наименование данного канала должно быть «Ch28»;

|  |
| --- |
| рисунок-22 |
| Рисунок 24 – «Ch28», первая проведенная гидравлическая связь. |

– проведите линию связи от граничного узла G к верхнему узлу бака – имя канала должно быть «Ch29»;

– следующий канал – от порта перехода «02-А» к узлу «U26» – и этому каналу присвоится имя «Ch30»;

– от узла «U26» к узлу «U25», имя связи – «Ch31» (на данном этапе проект должен иметь вид, аналогичный рисунку 25);

– от узла «U26» к узлу «U27», имя связи – «Ch32»;

– далее - от узла «U27» к граничному узлу Р (к бойлеру), имя связи – «Ch33»;

– от узла «U27» к узлу «U25», имя связи – «Ch34»;

– от узла «U25» к узлу бака «NodeK13», имя связи – «Ch35»;

Как промежуточный итог, вы должны получить схему, похожую на рисунок 26.

|  |
| --- |
| рисунок-23 |
| Рисунок 25 – Проведено четыре гидравлические связи. |

|  |
| --- |
| рисунок-24 |
| **Рисунок 26 – Проведены все гидравлические связи 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». Разместите клапаны на линиях связи «Ch35», «Ch34» и «Ch32» соответственно. После этого в свойствах каждого клапана отредактируйте их названия на требуемые и разверните клапан «К2» на 270 градусов, чтобы отображение расхода при клапане (сейчас это число «0.0») разместилось справа от клапана, а сам клапан стал вертикальным (см. рис. 27).

|  |
| --- |
| рисунок-25 |
| Рисунок 27 – Три клапана на листе 01 схемы TPP |

В настоящий момент каждый клапан как бы «висит в воздухе» - все они не принадлежат ни к какой «трубе», т.е. у них нет «владельца». Для того чтобы соединить каждый клапан с соответствующей ему гидравлической линией связи, следует выполнить следующее действие – по нажатию правой кнопкой мыши на клапане, выберите пункт контекстного меню «Действия → сменить владельца» и после этого еще раз разместите каждый клапан над соответствующей ему линией связи (щелкните левой кнопкой мыши, т.е. курсором-«клапаном», по линии связи). После этого всплывающие подсказки над каждым клапаном будут показывать что у клапана есть владелец.

На схеме, которую вы постепенно создаете, используются готовые элементы теплогидравлического кода (как только что размещенные клапаны). Особенностью данной 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.

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 вспомогательные элементы, решающие 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 (01-А, 02-А) – это мы сейчас сделаем;
* 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 (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 данной схеме стандартного блока «Регулирующий клапан» позволяет во время расчета математической модели вызвать стандартное окно управления (см. рисунок 28). Используя это окно во время расчета, можно осуществлять воздействие на математическую модель. Можно, например, отключить автоматическую систему управления и вручную изменить положение клапана прямо 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 как готовый набор блоков, так и уже существующие панели управления оборудованием.

Давайте реализуем навигацию между листами схемы TPP в точках перехода трубопровода на другие листы. Для этого зайдите в свойства элемента «01-А» и перейдите там во вкладку «Общие». Свойство «ссылка» требуется отредактировать – измените значение этого свойства на «page:РУК02» - это можно сделать как вручную, так и вызвав окошко редактирования данного свойства, нажав там маленькую кнопку справа – при этом появится дополнительное диалоговое окно, в котором можно в удобной фоме выбрать на какой именно лист осуществлять переход (навигацию) по нажатию на данный объект (см. рис. 29). Причем следует изменить опцию «режим показа формы» с «управление объектом» на «просто ссылка» (то есть на рис. 29 показан не окончательный вариант). После изменения значения свойства на требуемое, нажмите кнопку «Ок».

Теперь надо понять, что вы получили в результате данной операции. Если вернуться на схемное окно и попробовать выполнить двойное нажатие на элемент «01-А», то вы должны автоматически переместиться на лист TPP, который указан в свойстве «ссылка». Поскольку вы указали в этом свойстве лист РУК02, то вы и переместитесь на лист 02, то есть перед вами появится пустое (пока еще) пространство второго листа схемы TPP с единственным элементом – тектовой надписью «РУК блок электроконденсатных насосов». Разместите здесь сразу порты перехода TPP, как показано на рисунке 30.

И сразу же измените свойства «ссылка» у каждого порта перехода TPP на значение «page:РУК01». Таким образом, при двойном щелчке на любом порте перехода вы будете перемещены на лист 01. При дальнейшей работе со схемой такая навигация существенно оптимизирует затраты времени на перемещение между листами. Может быть, в данном проекте с двумя листами это не играет большой роли, но в случае с большими проектами с несколькими десятками листов данный механизм очень полезен и выгоден с точки зрения удобства и временных затрат. Измените на листе 01 аналогичное свойство у порта перехода «02-А».

|  |
| --- |
| valve_control |
| Рисунок 28 – Панель управления клапаном в гидравлической схеме |

|  |
| --- |
| рисунок-27 |
| Рисунок 29 – Реализация навигации между листами схемы TPP |

|  |
| --- |
| рисунок-28 |
| **Рисунок 30 – Реализация навигации между листами схемы TPP на листе 02** |

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:

– на месте ТО БЭЖ, т.е. на линии «Ch31»;

– на месте ОПУ, т.е. на той же линии «Ch31»;

– на ветке «на рециркуляцию», то есть на линии «Ch35»;

– на ветке в бойлер, т.е. к граничному узлу Р (на линии «Ch33»).

Для реализации этого всего на схеме воспользуемся элементом «Местное сопротивление TPP»[[7]](#footnote-7). Разместите один из элементов на линии «Ch31» примерно там где расположен ТО БЭЖ на исходной схеме (рис. 9), убедитесь что канал «Ch31» автоматически стал владельцем местного сопротивления TPP и зайдите в свойства только что размещенного элемента (см. рис. 31). Замените значения свойств «Прямое сопротивление» и «Обратное сопротивление» на число «388» и нажмите кнопку «Ок».

На той же линии, 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 линия «Ch31».

Разместите еще два местных сопротивления на каналах «Ch35» и «Ch33» - им автоматически присвоятся имена «Ksi7» и «Ksi8». Проверьте владельцев размещенных сопротивлений и в свойствах каждого из сопротивлений укажите значения:

* «1» - для дроссельной шайбы,
* «281» - для сопротивления на пути к бойлеру.

|  |
| --- |
| рисунок-29 |
| **Рисунок 31 – Свойства местного сопротивления TPP «Ksi5».** |

Полученный результат сравните с рисунком 32 и, прежде чем двигаться дальше, уделим немного внимания дизайну схемы и ее внешнему виду.

|  |
| --- |
| рисунок-30 |
| **Рисунок 32 – Размещение четырех местных сопротивлений TPP.** |

Во-первых, как видно из рисунка 32, синие каналы общего вида перекрывают 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).

Во-вторых, для того чтобы подчеркнуть, что два из четырех местных сопротивления размещены вместо 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-31 |
| **Рисунок 33 – 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»[[8]](#footnote-8). 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 «Ch31» 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 «Ch31» является владельцем вновь размещенного датчика (см. рис. 34).

|  |
| --- |
| рисунок-32 |
| Рисунок 34 – 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». Аналгичную 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 параметров и элементы из панели примитивов. Для вызова панели примитивов, воспользуйтесь пунктом меню «Вставка → Панель примитивов». В появившейся панели (см рис. 35) выберите элемент «Редактор» и разместите его на форме вправа от граничного узла G.

|  |
| --- |
| рисунок-33 |
| Рисунок 35 – 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 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 36.

|  |
| --- |
| рисунок-34 |
| Рисунок 36 – Примитивы на схеме TPP |

Далее перейдите во вкладку «Параметры» и задайте при помощи ключевых слов **initialization**…**end;** значения по умолчанию для расхода и для уровня воды в конденсаторе (см. рис. 37), 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.

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.

Для граничного узла G необходимо значение свойства «Расход» задать как «Fzad/3.60». Коэффициент 3.60 получается при переходе от размерности тонны в час к размерности кг в секунду.

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.

|  |
| --- |
| рисунок-35 |
| Рисунок 37 – Механизм глобальных параметров для листа РУК01 |

## Параметры схемы TPP для листа РУК01

Теперь перейдем к заданию свойств элементов, размещенных на листе РУК01, и после этого наберем лист РУК02.

Начнем с граничного узла G – тут нам понадобится задать и проверить правильность задания параметров «Расход» и «Энтальпия» (см. рис. 38). Все остальные параметры не меняем – оставляем все значения равными заданным по умолчанию. Во вкладке «Общие» задайте значение параметра «Индекс блока» равным единице (1), остальные параметры не нужно изменять – см. рис. 39.

У следующего элемента – граничного узла P – нам тоже следует поменять только пару параметров: «Давление» = «5.7» и «Индекс блока» = 5. Остальное оставьте без изменений.

Перейдем к каналам связи общего вида. Согласно исходным данным, каждый канал (каждый участок труб), 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. Зайдите в свойства канала «Ch29», расположенном между узлом подпитки и конденсатором. Здесь менять ничего не надо – через него вода просто поступает к конденсатору без сопротивления. Проверьте, что по умолчанию количество участков равно «1», гидравлический диаметр равен «0.1», гидравлический диаметр равен «0.00785», длина и сопротивление равны единице.

В следующем канале, «Ch28», уже следует поменять некоторые свойства. Во-первых, количество участков равно «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» (см. рис. 40).

Перейдем к каналу «Ch30». Здесь изменяем только гидравлический диаметр («0.25») и проходное сечение («0.04909»).

|  |
| --- |
| рисунок-36 |
| **Рисунок 38 – Свойства объекта «Граничный узел G»** |

Канал «Ch32» имеет особенность – на нем расположен клапан «К2», у которого необходимо учесть местное сопротивление. Для улучшения «математики» расчета, здесь имеет смысл увеличить число участков (до 4-8), 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 мыши по нужному каналу (см. рис. 41). В этом редакторе достаточно набрать характеристики одного участка и далее «размножить» их на необходимое число участков, воспользовавшись кнопкой в верхнем левом углу.

В первом приближении, для участка с клапаном сопротивление будет в 100 раз больше, чем для остальных участков – см. рис. 42. 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»).

Переходим к следующему каналу – «Ch31». В нем нужно сделать девять одинаковых участков (см. рис. 43), причем первое местное сопротивление, которое замещает в нашей схеме ТО БЭЖ, разместим на первом участке, а второе сопротивление (аналог ОПУ) – на пятом участке, см. рис. 44 и 45 соответственно. Параметры канала возьмите с рисунка 43.

В канале «Ch33» все относительно просто – см. рисунок 46. В канале «Ch34» задаем повышенное сопротивление для участка с клапаном – см. рис. 47. Для канала «Ch35» 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 короткий и тонкий (в соответствии с исходными данными), см. рис. 48.

|  |
| --- |
| рисунок-37 |
| **Рисунок 39 – Общие свойства объекта «Граничный узел G»** |

Не забудьте расположить клапан на первом участке, а сопротивление – на четвертов, 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 (элемент «Ksi7») значение сопротивления установите равным единице, во втором случае (у «Ksi8») значение сопротивления укажите как «0.5\*562» - это значение было примерно подобрано для получения заданного перепада давления на этом участке.

|  |
| --- |
| рисунок-38 |
| Рисунок 40 Свойства объекта «Ch28» |

|  |
| --- |
| рисунок-39 |
| Рисунок 41 – Редактор параметров канала |

|  |
| --- |
| рисунок-40 |
| Рисунок 42 – Параметры канала «Ch30» |

|  |
| --- |
| рисунок-41 |
| Рисунок 43 – Параметры канала «Ch31» |

|  |
| --- |
| рисунок-42 |
| Рисунок 44 – Параметры местного сопротивления (ТО БЭЖ) |

|  |
| --- |
| рисунок-43 |
| Рисунок 45 – Местное сопротивление (ОПУ) – на пятом участке |

|  |
| --- |
| рисунок-44 |
| Рисунок 46 – Параметры канала «Ch33» |

|  |
| --- |
| рисунок-45 |
| Рисунок 47 – Параметры канала «Ch34» |

|  |
| --- |
| рисунок-46 |
| Рисунок 48 – Параметры канала «Ch35» |

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 (в нашем случае – это «g (Массовый расход)») и нажмите на верхнюю левую кнопку «Создать подписи» (см. рис. 49).

|  |
| --- |
| рисунок-47 |
| Рисунок 49 – Параметры объекта «Канал общего вида» |

Далее в появившемся диалоге настраиваются некоторые свойства 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 надписи, которые уже установлены по умолчанию (см. рис. 48).

Теперь на схемном окне появился новый элемент – «Textlabel211» с владельцем «Ch28». Сейчас этот элемент показывает что расход в канале равен нулю. Но при выполнении расчета – когда мы перейдем к режиму моделирования – этот элемент будет в режиме реального времени показывать расход через выбранный канал. По аналогии, выведите расход для всех остальных каналов и для всех узлов схемы (кроме узлов конденсатора). Результат должен быть похож на рисунок 51 – сравните.

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 (см. рис. 52).

|  |
| --- |
| рисунок-48 |
| Рисунок 50 – Свойства подписи объектов. |

|  |
| --- |
| рисунок-49 |
| **Рисунок 51 – Свойства подписи объектов.** |

|  |
| --- |
| рисунок-50 |
| Рисунок 52 – Свойства бака (компенсатора / конденсатора турбины). |

Осталось сделать последнее действие – вывести на экран схемы два параметра конденсатора для контроля расчета в режиме реального времени – нас будет интересовать давление и уровень в конденсаторе. Одновременно два параметра можно вывести, если их указать на двух строках рядом друг с другом (см. рис. 53).

|  |
| --- |
| рисунок-51 |
| **Рисунок 53 – Вывод на экран двух параметров конденсатора** |

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

## Набор схемы TPP на листе РУК02

После того как вы набрали схему на листе 01, следует собрать теплогидравлическую схему на листе 02. Она несколько проще схемы первого листа и, для тренировки и закрепления материала, постарайтесь самостоятельно набрать ее примерно в том виде, как она представлена на рисунке 54.

Здесь, помимо ранее размещенных портов перехода с листа и на лист TPP, 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-45 |
| Рисунок 54 – Второй лист схемы TPP, РУК02 |

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

Параметры четырех каналов (последовательно от входного порта к выходному) показаны на рисунках 56…58. Приведите в соответствие с этими рисунками свойства каждого канала на схеме. Условно по ходу движения потока воды каналы названы первый, второй, третий и четвертый.

|  |
| --- |
| рисунок-52 |
| Рисунок 55 – Параметры «первого» канала на втором листе |

|  |
| --- |
| рисунок-53 |
| **Рисунок 56 – Параметры «второго» канала на втором листе** |

|  |
| --- |
| рисунок-54 |
| **Рисунок 57 – Параметры «третьего» канала на втором листе** |

|  |
| --- |
| рисунок-55 |
| **Рисунок 58 – Параметры «четвертого» канала на втором листе** |

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 – см. рис. 59.

|  |
| --- |
| рисунок-56 |
| Рисунок 59 – Свойства клапанов на листе 02 |

Перейдем к насосам. Здесь следует отметить, что насос – это особый элемент, который обладает особым свойством «Характеристика насоса». Значение этого свойства – это 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 «C:\Program Files\SimInTech\bin\DataBase\Простые насосы» и нам следует выбрать характеристику насоса ЭКН-125-140 из файла «ЭКН\_125-140.tbl» (рис. 60). Данный файл был специально подготовлен по исходным данным ОАО «КТЗ». Редактор таблиц встроен в МВТУ, 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 поверхностного ознакомления с этим инструментом (см. рис. 61).

|  |
| --- |
| рисунок-57 |
| Рисунок 60 – Файлы с характеристиками насосов |

|  |
| --- |
| рисунок-58 |
| Рисунок 61 – Редактор таблиц, напорная характеристика насоса |

Для двух верхних насосов свойство «частота вращения» устанавливаем в единицу (см. рис. 62), 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-59 |
| Рисунок 62 – Свойства насоса 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 рис. 63.

|  |
| --- |
| рисунок-60 |
| **Рисунок 63 – Свойства местных сопротивлений на листе 02.** |

У элементов «внутренний узел» оставьте значения всех свойств без изменений, кроме одного: свойство «высотная отметка» следует установить в «-20» (минус двадцать, см. рисунок 64). Это нужно сделать во-первых, по условиям задачи, а во-вторых, и с точки зрения качества расчета – расчет насосов происходит более устойчиво, когда на входе есть некоторый «запас» по давлению.

|  |
| --- |
| рисунок-61 |
| Рисунок 64 – Свойства внутренних узлов на листе 02. |

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-62 |
| Рисунок 65 – Лист 02 схемы TPP |

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

# Расчет схемы TPP

## 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, равном 160 тонн в час. Для сохранения всех параметров схемы более или менее постоянными (стационарными) при таком расходе, следует выставить 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 66 (на рисунке представлен мгновенный снимок около 100-ой секунды расчета).

Заметьте, что положения клапанов не изменяются, и расходы в каналах и давления в узлах также остаются стационарными. Уровень в конденсаторе также практически не меняется. 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 в момент расчета 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-64 |
| Рисунок 66 – Стационарный режим при расчете гидравлической модели |

Данный вариант расчета является лишь «проверочным» для гидравлической модели. 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 нашей гидравлической модели и будем в дальнейшем их соединять друг с другом, то нам нужно научиться пользоваться базой данных сигналов, через которую и будет в дальнейшем происходить обмен данными между двумя проектами – проектом гидравлической модели TPP и моделью автоматики.

Создайте новую схему автоматики: для этого выберите пункт меню «Файл → Новый проект → Схема автоматики» (см. рис. 67). После этого откроется новое схемное окно, в котором и будет происходить создание структурной схемы системы автоматики.

Для дальнейшей работы необходимо сохранить данную схему в файле с новым именем. После сохранения файла его имя и полный путь отображаются в заголовке схемного окна (см. рис. 68). При необходимости пользователь может изменить размеры и местоположение окна на экране компьютера, используя для этого стандартные методы работы с окнами.

|  |
| --- |
| рисунок-65 |
| Рисунок 67 – Создание новой схемы автоматики. |

|  |
| --- |
| рисунок-66 |
| Рисунок 68 – Новый проект автоматики, сохраненный на жесткий диск |

По умолчанию схемы математических моделей предназначены для автономной отладки и не содержат в себе базы данных сигналов. Однако к любой схеме в МВТУ-4 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 расчета**» (см. рис. 69)
  2. В появившемся диалоговом окне настроек перейти на закладку «Настройки» (см. рис. 70).

|  |
| --- |
| рисунок-67 |
| Рисунок 69 – Кнопка доступа к параметрам расчета |

* 1. В строке редактирования «Модуль базы данных проекта» необходимо ввести следующий текст: $(Root)\sdb.dll (sdb.dll – имя динамической библиотеки программного модуля базы данных).
  2. 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).

|  |
| --- |
| рисунок-68 |
| Рисунок 70 – Закладка настройки базы данных проекта |

* 1. Закрыть диалоговое окно нажатием кнопки «ОК». (см. рисунок 70).
  2. 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, представленное на Рисунке 71.

Рассмотрим более внимательно данное окно.

Редактор базы данных содержит две закладки, расположенные в верхней части окна: непосредственно «Редактор» и «Удаленный расчет». (См. Рисунок 71). Для настройки сигналов используется закладка «Редактор».

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\_2 – код конкретной задвижки существующий в базе данных и математической модели объекта. По объектом в базе данных подразумевается некоторая группа сигналов, отнесенная к этому объекту.

Панель «Сигналы и данные для групп» содержит **таблицу с сигналами и данными**, 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-69 |
| Рисунок 71 – 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 часть панели (см. рис. 71). После этого в списке категорий появляется новая запись «Новая категория».

Двойной клик на элементе «Новая категория» открывает диалоговое окно редактирования категории (см. рис. 72) В данном диалоговом окне пользователь заполняет таблицу сигналов, которые соответствуют данной категории. Например, для задвижки это могут быть вещественное значение положения штока, двоичное значение сигнала «открыта» или «закрыта» и т. д. На рисунке 72 представлен простейший образец заполнения свойств категории «Задвижки».

|  |
| --- |
| рисунок-70 |
| Рисунок 72 – Окно создания нового типа объекта |

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.

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%).

Для начала, давайте вернемся к окну схемы автоматики, разместим на нем первую субструктуру, которую следует переименовать в «Схема автоматики клапана К1А» и разместим внутри субструктуры два элемента – элемент чтения из списка сигналов и элемент даписи в список (см. рис. 72 и 74).

|  |
| --- |
| рисунок-71 |
| Рисунок 73 – Субструктура с алгоритмом автоматики |

|  |
| --- |
| рисунок-72 |
| Рисунок 74 – Элементы чтения и записи в список сигналов |

Теперь следует указать, какой именно сигнал мы читаем из базы данных и какой записываем. Зайдите в свойства элемента «Чтение из списка сигналов». Нам следует изменить значение свойства «Имена сигналов». Для этого воспользуйтесь кнопкой слева внизу диалогового окошка свойств (кнопка называется «Найти значение в базе»). По нажатию на эту кнопку откроется следующее окно – инструмент редактирования базы данных, в котором надо выбрать категорию «Датчики», далее датчик расхода «G» и имя сигнала «XQ02», которое нужно добавить в табличку «Выбранные данные» – она находится справа внизу появившегося окошка (см. рис. 75).

|  |
| --- |
| рисунок-73 |
| Рисунок 75 – Добавление сигнала расхода в схему автоматики |

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».

Для записи сигнала «Положение клапана К1А» в базу данных, нам сначала следует создать объект К1А в базе данных. Если вы еще не создали тип «Датчики», создайте его, как это было описано ранее, с треми видами сигналов, и затем добавьте в базу данных один объект такого типа с названием «К1А».

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 76.

|  |
| --- |
| рисунок-74 |
| Рисунок 76 – Запись и чтение из списка сигналов |

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 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» (см. рис. 77).

|  |
| --- |
| рисунок-75 |
| Рисунок 77 – Выбор значения сигнала из базы данных. |

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 интегрирования.

Давайте еще раз рассмотрим в целом, как работает база данных. Вообще говоря, база данных представляет собой просто массив сигналов (таблицу) в памяти МВТУ, 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 – 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 tpp.db).

Вернемся снова к схеме автоматики – нам нужно набрать упрощенную схему управления исполнительным механизмом клапана К1А. Попробуйте самостоятельно набрать схему, как показано на рисунке 78.

|  |
| --- |
| рисунок-76 |
| Рисунок 78 – Простейшая схема управления клапаном К1А |

Рассмотрим алгоритм действия данной схемы: сигнал с датчика расхода сравнивается с заданным значением расхода и разница (рассогласование) подается на усилитель с подобранным коэффициентом. Далее сигнал рассогласования поступает на ПИД-регулятор (также с подобранными коэффициентами) и на сумма на выходе ПИД-регулятора передается в релейный блок с зоной нечувствительности. Если на выходе из релейного блока сигнал равен 0, то клапан находится без движения (одновременно подается сигнал «Открыть» и «Закрыть»). Если после реле сигнал «-1», то подается сигнал «Закрыть», если «+1», то – «Открыть». Интегратор с ограничением моделирует исполнительный механизм 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 слой, параллельно проекту гидравлики TPP, и эти два проекта (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: «50» (свойство «а» элемента «Константа»).
* Сравнивающее устройство: «1, -1».
* Коэффициент усиления: «100/670».
* ПИД, коэффициент усиления: «2».
* ПИД, интегратор: «0.05».
* 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».
* Сигнал меньше уставки: «0.5», «0».
* Сигнал больше уставки: «-0.5», «0».
* Сумматор: «-1,1».
* Интегратор с ограничением: «1/25», «0», «100», «50».

Данные параметры подобраны таким образом, чтобы система автоматики клапана «К1А» поддерживала на стационарном уровне расход через ТО БЭЖ, т.е. на уровне «50», как это и происходит в нашем расчете гидравлической схемы с расходом подпитки «150». 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.

## 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 (см. рис. 79).

|  |
| --- |
| рисунок-77 |
| Рисунок 79 – Пакет двух проектов (схема TPP и схема 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», см. рис. 79).

При запуске пакета проектов на расчет, в процессе расчета можно увидеть, что клапан «К1А» уже не находится в стационарном начальном положении «50%», 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 80 и 81 (здесь мы изменили уставку по расходу с «50» на «49» и система автоматики как бы «ищет» новое стационарное положение клапана).

|  |
| --- |
| рисунок-78 |
| Рисунок 80 |
| рисунок-79 |
| Рисунок 81 |

Таким образом, мы ознакомились с возможностями МВТУ создавать гидравлические схемы и схемы автоматики для совместной работы.

## 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 МВТУ и переименуйте каждую из них в соответствии с рисунком 82.

|  |
| --- |
| рисунок-80 |
| Рисунок 82 – Верхний уровень схемы автоматики |

Алгоритм управления клапанами К1В и К2 в данном учебном примере будет похож на алгоритм управления клапаном К1А – он будет основан на применении ПИД-регулятора и рассогласовании значения уровня в конденсаторе и заданного значения уровня (393 мм). Поэтому, для ускорения набора каждой из схем, можно просто скопировать схему автоматики из первой субструктуры во вторую и в третью.

Зайдите внутрь первой субструктуры, выделите там все элементы охватываающей рамкой и нажмите правой кнопкой мыши на каком-нибудь элементе (см. рис. 83). В выпадающем контекстном меню выберите пункт «Копировать», после чего выделенная схема будет скопирована в буфер обмена.

Далее нужно зайти во вторую субструктуру и там «Вставить» эту схему из буфера обмена.

|  |
| --- |
| рисунок-83 |
| Рисунок 83 – Копирование схемы автоматики |

Попробуйте самостоятельно изменить на вновь скопированной схеме все нужные жлементы таким образом, чтобы новая схема управляла клапаном К1В.

Для этого необходимо выполнить следующие шаги:

1. В базе данных создать Задвижку с именем «К1В» (создайте заодно 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» и «5» соответственно. 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.

Теперь 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

Чтобы излишне не загромождать данную методику, здесь приведены графики расчета двух режимов: 1) постоянный расход подпитки 30 т/час, 2) увеличение расхода с 30 до 150 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 84-88.

|  |
| --- |
| рисунок-84 |
| Рисунок 84 – Режим 1, график уровня в конденсаторе |

|  |
| --- |
| рисунок-85 |
| Рисунок 85 – Режим 1, график положения клапана К1В |

|  |
| --- |
| рисунок-86 |
| Рисунок 86 – Режим 1, график положения клапана К2 |

|  |
| --- |
| рисунок-87 |
| Рисунок 87 – Режим 1, график расхода теплоносителя через ТО БЭЖ |

|  |
| --- |
| рисунок-88 |
| Рисунок 88 – Режим 1, график положения клапана К1А |

Как видно из этих рисунков, созданная нами система управления поддерживает уровень в конденсаторе в заданных пределах, но при этом происходит «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 – в данном учебном примере применен обычный ПИД-регулятор, который не может выставить клапан точно в нужную позицию и удерживать его там. 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 25 кг/с (90 т/час).

Давайте теперь рассмотрим режим 2 – со следующим изменением расхода подпитки: 30 т/час → 150 т/час → 30 т/час. Графики представлены на рис. 89-93. На графике уровня воды (рис. 89) видны небольшие изломы – в моменты времени 200 с и 1000 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 30 и 70 % соответственно), а затем закрылись (клапан К2 снова до 0%, клапан К1В вернулся к исходным «колебаниям»).

|  |
| --- |
| рисунок-89 |
| Рисунок 89 – Режим 2, график уровня в конденсаторе |

|  |
| --- |
| рисунок-90 |
| Рисунок 90 – Режим 2, график положения клапана К1В |

|  |
| --- |
| рисунок-91 |
| Рисунок 91 – Режим 2, график положения клапана К2 |

|  |
| --- |
| рисунок-92 |
| Рисунок 92 – Режим 2, график расхода теплоносителя через ТО БЭЖ |

|  |
| --- |
| рисунок-93 |
| Рисунок 93 – Режим 2, график положения клапана К1А |

Расход через ТО БЭЖ также на протяжении всего расчета остается примерно на заданном уровне около 25 кг/с.

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. По умолчанию для субмодели TPP наименование элементов примет вид: «KBA – система уплотнений ГЦН, Лист 02» [↑](#footnote-ref-1)
2. Библиотека «Технологические блоки», класс «Баки» [↑](#footnote-ref-2)
3. Библиотека «Датчики», элемент «Датчик уровня в КО TPP» [↑](#footnote-ref-3)
4. Библиотека «Субструктуры» [↑](#footnote-ref-4)
5. Например, нажав правую кнопку мыши над портом перехода и выбрав пункт «Вставить текст» [↑](#footnote-ref-5)
6. Библиотека «Технологические блоки», класс «Узлы», элемент «Внутренний узел» [↑](#footnote-ref-6)
7. Библиотека «Технологические блоки», класс «Арматура» [↑](#footnote-ref-7)
8. Библиотека элементов «Датчики» [↑](#footnote-ref-8)