# Создание простой теплогидравлической модели

## Создание расчетной теплогидравлической схемы

Откройте файл с именем Схема теплогидравлики 1.prt. Данный файл был создан при выполнении второго учебного задания и настроен на работу с базой данных, сохраненной в файле signals.db.

Убедитесь, что база данных содержит сигналы, созданные при выполнении первого учебного задания.

Для создания схемы используются блоки, расположенные в закладке «Теплогидравлика» палитры блоков. (Рисунок 22). Здесь собраны расчетные блоки, непосредствено из которых набираются теплогидравлические модели для расчета кодом HS (HydroSolver). Расчётный код HS входит в стандартную поставку ПО SimInTech, является одномерным односкоростным кодом и предназначен для расчета теплогидравлических контуров произвольной топологии в приближении сжимаемой или несжимаемой среды. Среди доступных теплоносителей – вода и водяной пар, воздух, аргон, жидкометаллический свинец, авиационной топливо и ряд других.

Применительно к учебной задаче будет создана простая модель горизонтального трубопровода между двумя точками с постоянным давлением. На трубопроводе будут размещены две задвижки и точка контроля, измеряющая давление в среднем узле. В качестве учебного задания необходимо будет реализовать простую модель двигателей и блоков управления задвижками, а также алгоритм регулятора, поддерживающего давление в среднем узле на заданном уровне путём формирования управляющих воздействий на первую задвижку. Для второй задвижки будет создан пульт «местного» управления для управления задвижкой вручную.

Рисунок 22. Библиотека расчетных блоков теплогидравлики

Для набора схемы необходимо выполнить действия:

1. Поместите на схемное окно следующие расчетные теплогидравлические блоки (Рисунок 23) :

– «**HS - Граничный узел**» (2 шт.);

– «**HS - Канал**» (2 шт.);

– «**HS - Внутренний узел**».

Рисунок 23. Нужные блоки из библиотеки расчетных блоков теплогидравлики

Изображение блоков схемы может состоять из нескольких связанных графических элементов, которые могут быть перемещены относительно друг друга. Пример – Рисунок 24:

Рисунок 24. Тестовая схема теплогидравлической модели – набор несоединенных блоков.

1. Произведите последовательное соединение элементов таким образом, чтобы два элемента «**HS - Канал**» образовали одну гидравлическую линию с внутренним узлом и граничными узлами. Граничные узлы будут определять давление на границах данной гидравлической линии (Рисунок 25).

Рисунок 25. Тестовая схема теплогидравлической модели – соединение каналов.

1. Поместите на первый элемент «**HS - Канал**» элемент «HS - Клапан» из группы блоков «**HS - Арматура**».
2. Поместите на второй элемент «**HS - Канал**» элемент «HS - Клапан» из группы блоков «**HS - Арматура**».
3. В итоге схема теплогидравлической модели должна выглядеть сходно с рисунком (Рисунок 26).

Рисунок 26. Тестовая схема теплогидравлической модели.

**Примечание**: для целей настоящего упражнения не важно, будет ли арматура называться «Клапан» или «Задвижка» т.к. подробное рассмотрение блоков управления для них не предусмотрено. Мы выбрали клапан, т.к. у него в составе библиотечного блока выведено значение текущей позиции на схему, что удобно при отладке.

## Настройка параметров расчетной модели

Для корректного расчета теплогидравлической модели необходимо задать свойства **каждого** блока (элемента) схемы. Для этого необходимо:

1. Выделить нужный элемент;
2. Во всплывающем меню выбрать пункт «Свойства объекта» (Рисунок 27).

Рисунок 27. Контекстное меню элемента схемы

После этого появится окно «Свойства», в котором можно задать свойства элемента. Ниже представлено окно для блока «**HS -** Граничный узел» (Рисунок 28 для граничного узла, расположенного слева).

Задайте в граничных узлах значения следующих свойств:

* + - 1. Для левого узла (Рисунок 28):
         * Давление – **1.5e5**;
         * Энтальпия и Температура - оставить заданное по умолчанию;
         * Теплоноситель – **Вода**; (или оставить пустым, по умолчанию будет применена Вода).

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Рисунок 28. Диалоговое окно «Свойства» для левого граничного узла | Рисунок 29. Диалоговое окно «Свойства» для правого граничного узла |

* + - 1. Для правого узла (Рисунок 29):
         * Давление – **1.0e5**;
         * Энтальпия и Температура - оставить заданное по умолчанию;
         * Теплоноситель – **Вода**; (или оставить пустым, по умолчанию будет применена Вода)

Этими свойствами будет задана постоянная величина перепада давления (половина атмосферы) на границах моделируемого трубопровода, что приведет к наличию расхода в трубопроводе при незакрытых задвижках.

Обратите внимание, что свойство «**Проходное сечение**» для обоих граничных узлов задано по умолчанию интерпретируемым выражением. Разберем значение для **S**, равное **pi\*Self.D^2/4** для понимания:

* **Pi** – встроенная в интерпретатор SimInTech константа, численно равная π;
* **Self** – указатель блока на себя самого, т.е. указатель того, что будет использовано в выражении свойство или параметр самого блока;
* **Self.Dg** – свойство Dg данного блока (будет подставлено его значение);
* **^2/4** – возведение во вторую степень и деление на 4.

Таким образом, достаточно задать значение для гидравлического диаметра, а свойство для проходного сечения будет вычислено по формуле для круглой трубы (0.25\*π\*d2/4). При необходимости заданные по умолчанию значения надо изменить на требуемые, как мы это сделали для давления в левом узле.

Если мы хотим в формировании каких-либо одних свойств блока использовать какие-либо другие свойства блока, то нам достаточно сформировать на них ссылку по шаблону **Self.<имя свойства>** и добавить какие-либо математические действия. При создании параметризованных субмоделей часто вместо служебного слова **Self** используется **Submodel** для ссылки на свойство субмодели.

Заполните свойства для блоков «**HS - Канал**» в соответствии с рисунком (Рисунок 30), вызвав диалоговое окно «Свойства».

|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 30. Диалоговое окно «Свойства» для канала. | Для корректной работы задвижек в схеме необходимо, чтобы гидравлическое сопротивление участка трубопровода, в котором они установлены, не равнялось нулю, поэтому нужно задать общее сопротивление канала, равное хотя бы 1 (как для левого трубопровода, так и для правого). Для этого в строках «Прямое местное сопротивление» и «Обратное местное сопротивление» введите **1.** Если количество расчетных элементов (N) больше одного (т.е. канал разбит на ячейки), то сопротивления можно задать строкой Self.N#(1/Self.N), то есть формируется массив из значений сопротивления для каждой гидравлической связи внутри канала так, чтобы суммарное сопротивление канала было равно 1.  По умолчанию задано верное значение. Численное значение сопротивления в данном упражнении не важно, главное чтобы оно было ненулевое. |

Теперь перейдём к задвижкам. Напомним, что при создании базы данных мы использовали название для задвижек Z1 и Z2.

## Изменение названий клапанов на схеме

Помещенные на схему клапаны по умолчанию имеют названия, соответствующие некоторой кодировке оборудования. Средства программного комплекса позволяют задавать шаблон названий по умолчанию для любых элементов. В данном учебном задании мы используем названия «Z1» и «Z2» и не делаем различия между клапанами и задвижками. Прежде чем перейти к выполнению следующего учебного задания, измените названия задвижек.

Для изменения названия клапанов следует выполнить следующие действия:

|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 31. Изменение наименования клапана | 1. Выделите клапан на схеме; 2. Правой кнопкой мыши вызовите меню, в котором выберите пункт «Свойства объекта»; 3. В появившемся окне «Свойства» перейдите на закладку «Общие»; 4. В строке «**Имя объекта**» введите Z1 (Рисунок 31); 5. Нажмите кнопку «**Ок**» для сохранения изменений.   Аналогичным образом измените имя блока (объекта) для второго клапана, на Z2. |

## Связь свойств расчетных элементов с сигналами из базы данных

После создания простейшей расчетной схемы необходимо связать свойства расчетных элементов с сигналами из базы данных. В настоящем упражнении мы свяжем сигналы положения задвижек из базы данных и соответствующие свойства двух блоков-задвижек расчетной схемы.

Выделите на схеме блок «**HS - Задвижка**» и вызовите для него диалоговое окно «**Свойства**» (Рисунок 32):

Рисунок 32. Диалоговое окно редактирования свойств элемента «Регулирующий клапан»

Параметры, представленные в окне редактирования на закладке «Свойства» (Рисунок 32), могут быть заданы несколькими способами:

* с помощью числовых значений непосредственно в редакторе свойств;
* с помощью интерпретируемых математических выражений непосредственно в редакторе свойств;
* посредством импорта из базы данных сигналов – в этом случае в качестве интерпретируемого значения подставится имя сигнала из базы данных (его можно вписать и вручную!) и при его интерпретации (на каждом шаге расчета если сигнал имеет способ расчета «переменная») свойство будет принимать текущее значение сигнала. Таким образом в теплогидравлический код будет передаваться обновляемое значение сигнала из базы данных на каждом шаге синхронизации.

Чтобы связать свойство объекта с сигналом из базы данных, необходимо:

1. В окне редактора свойств выделить значение свойства (в данном примере – число 100, заданное по умолчанию, у свойства «Степень открытия, %»);
2. Нажать кнопку «Найти значение в базе» (Рисунок 32). При нажатии этой кнопки происходит вызов диалогового окна «Редактор базы данных» (Рисунок 33). В диалоговом окне нужно выбрать последовательно:

* Категорию **«Задвижки»**;
* Группу сигналов **«Z1»** для левой задвижки;
* Имя сигнала **«Положение»**.

1. Выберите данный сигнал и нажмите клавишу «Добавить» в панели «Выбранные данные» (Рисунок 33). Для выбранного сигнала формируется уникальное имя, состоящее из имени группы сигналов и имени сигнала, разделенных знаком подчеркивания (для данной задвижки имя сигнала будет Z1\_xq1);
2. Введите значение 50 для сигнала Положение (Рисунок 33). Задание сигнала в базе данных устанавливает начальное значение положения задвижки. В данном случае это значит, что задвижка открыта на 50%.
3. Закройте окно редактора базы данных нажатием кнопки «Ок».

Рисунок 33. Выбор сигнала в базе данных для свойств объекта

Повторите действия для второго клапана, привязав его состояние к аналогичному сигналу из базы данных проекта, но относящемуся к группе сигналов с именем «Z2». Диалоговое окно свойств этой задвижки должно выглядеть так, как показано на рисунке (Рисунок 34). Имя сигнала **Z2\_xq01** можно вписать и вручную, так бывает удобно поступать, когда разработчик модели хорошо знает базу сигналов и именования сигналов не длинные. Для надёжности лучше вставлять имя сигнала из базы.

Рисунок 34. Свойства клапана после связывания сигнала Z2\_xq01 из базы данных и «Положение, %»

**Подчеркнём еще раз**: вышеописанный способ не является единственным способом связи какого-либо сигнала из базы данных и свойства блока. Кроме того что Пользователь может вводить имя используемого сигнала вручную (в нашем случае в свойстве задвижек «Степень открытия, %» можно было ввести **Z1\_xq01** и **Z2\_xq01** соответственно, вообще не вызывая редактор базы данных), можно также присваивать значения свойств через Скрипт проекта или субмодели. В некоторых ситуациях бывает нужно переопределять само интерпретируемое значение в процессе расчета, однако эти более сложные ситуации не входят в рамки настоящих учебных заданий.

## Просмотр расчетных параметров теплогидравлической схемы

Каждый блок расчетной схемы содержит набор параметров, которые рассчитываются кодом и отражают текущее состояние расчетных характеристик процесса, происходящего в схеме и блоке. Контролируя параметры блока как в числовом, так и в графическом виде, пользователь может анализировать ход переходного процесса. Используя параметры, пользователь может создать точки контроля для блока, которые в свою очередь могут использоваться в схемах автоматики для формирования различных алгоритмов управления (например, параметр «давление» - алгоритм управления «поддержание давления на заданном уровне»). Эти параметры, как в виде табличных значений, так и виде графиков, можно просматривать непосредственно во время расчета теплогидравлической схемы. Для того, чтобы просмотреть список параметров, доступных для каждого элемента схемы, необходимо:

1. Выделить элемент теплогидравлической схемы;
2. Нажать правую кнопку мыши.
3. Во всплывающем меню выбрать пункт «Параметры объекта» (Рисунок 35).

Рисунок 35. Пункт «Параметры объекта» в контекстном меню

После этого появляется окно со списком параметров, которые можно получить из расчетного кода для данного элемента схемы. Это же окно может быть вызвано двойным щелчком по блоку в процессе расчета, если схема находится в режиме «Редактирование» (НЕ в режиме «Индикация»).

Приведем данный алгоритм для блока «**HS – Внутренний узел**». Выделите нажатием левой кнопки мыши на теплогидравлической схеме данный блок и вызовите окно параметров.

Появится диалоговое окно «**Параметры**» для выбранного блока (в данном случае для блока «**HS – Внутренний узел**», Рисунок 36). Окно отображает список параметров блока, выбранного в данный момент на схеме. Не закрывая это окно, можно выделить другой элемент схемы и посмотреть список его параметров.

|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 36. Окно «Параметры» для внутреннего узла схемы | Рисунок 37. Окно временного графика |

Выберите в списке параметр «Давление» и нажмите здесь же, слева вверху, кнопку «Создать график» (Рисунок 36). Появится новое окно «Временной график», в котором будет отображаться изменение выбранного параметра по времени (Рисунок 37).

Имя переменной на графике формируется из имени элемента (данное имя можно увидеть, вызвав окно «**Свойства**» и открыв вкладку «**Общие**») и имени параметра, которые разделяются точкой. Например, для элемента «Внутренний узел», с именем «Node\_2.», и параметра давление с наименованием «\_p», имя переменной на графике – «Node\_2.\_p» (Рисунок 37).

Не закрывая диалогового окна «Параметры», выберите на теплогидравлической схеме первый (левый) элемент «HS - Канал». Диалоговое окно параметры при этом будет отображать список параметров, соответствующих уже вновь выбранному элементу «HS - Канал» (Рисунок 38).

|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 38. Окно «Параметры» для канала | Выделите параметр «\_g (Массовый расход, кг/с)» и нажмите кнопку «Создать график».  Запустите задачу на расчет (пункт «Расчёт → Пуск» Главного меню). Запустить задачу на расчет также можно нажав клавишу «F9» на клавиатуре либо используя кнопки запуска расчета из схемного или главного окна.  Если предыдущие действия выполнены правильно, после короткого переходного процесса в созданной схеме установятся следующие значения для выбранных параметров:  Давление во внутреннем узле = 125000 (Рисунок 39), массовый расход по трубопроводу примерно 25,1 кг/с (Рисунок 40).  При автономном моделировании теплогидравлической модели (без автоматического управления) пользователь имеет возможность просматривать любые параметры любого расчетного блока на схеме и выводить параметры на график. |

Мы сделали график для давления во внутреннем узле, расход по каналу предлагается вывести на график самостоятельно. Также есть возможность оказывать влияние на некоторые другие величины – граничные условия, положение задвижек можно менять либо вручную (если положение задано числом), либо через базу сигналов, если положение задано сигналом.

|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 39. График давления во внутреннем узле схемы | Рисунок 40. График массового расхода в трубе |

Для примера, вы можете изменить давление в левом граничном узле с 1.5e5 на какое-либо другое (1.4e5, 1.1e5 или 1.7e5) и посмотреть как это отразится на давлении в среднем узле и на массовом расходе. Следует учесть что подобные изменения происходят (для расчетного кода) мгновенно и важно не слишком сильно «дёргать» расчетную схему, чтобы она оставалась устойчивой для численного интегрирования. Другой пример – можно изменить гидравлический диаметр одного из каналов и это скажется также как на итоговом расходе, так и на давлении в среднем узле. Если, например, задать давление слева таким же как и справа то течение теплоносителя через трубопровод прекратится…

## Добавление датчиков (точек контроля) к теплогидравлическим элементам

На теплогидравлической схеме можно разместить дополнительные блоки – датчики, которые позволяют считывать параметры, рассчитываемые различными блоками, и записывать их с каким-то технологическим именем в базу данных. Каждый элемент расчетной схемы содержит набор параметров, которые можно передавать в базу данных сигналов с помощью датчиков.

Передача параметров через базу данных позволяет создавать математическую модель системы управления, получающую сигналы от датчиков из теплогидравлической модели, в полном соответствии с реальным объектом.

Разместим на схеме датчик давления во внутреннем узле схемы. Для этого необходимо выполнить следующие действия:

1. Вставьте блок «HS – Датчик P в узле» в элемент «Внутренний узел».
2. В свойствах блока в поле «**Имя категории для точек контроля»** задайте строку «**Датчики**»
3. Задайте в поле «Имя точки контроля» строку «D1».
4. Задайте в поле «Значение (Источник)» строку «parent.\_P».
5. Задайте в поле «**Сигнал (Приемник)**» строку «**iq01**».
6. Задайте в поле «Название сигнала» строку «Расчетное давление в узле, МПа» (Рисунок 41).

Таким образом, мы добавили на схему датчик, который «измеряет» давление во внутреннем узле. По сути, этот блок на каждом шаге расчёта будет считывать значение параметра **\_p** у внутреннего узла и записывать значение в сигнал **D1\_iq01** базы данных.

**Важное примечание**: у точек контроля есть общее свойство с названием «Имя категории для точек контроля». Его необходимо изменить на «**Датчики**» (Рисунок 42) т.к. в нашей базе сигналов именно в этой категории хранятся сигналы для датчиков.

|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 41. «Точка контроля» давления во внутреннем узле  Запустите задачу на расчет нажатием на пункт Главного меню «Расчёт → Пуск». Если добавление датчика на схему было выполнено правильно, то в базе данных в категории «Датчики» в группе сигналов «D1» будет видно изменение текущего значения давления в среднем узле. | Рисунок 42. Общие свойства «Точки контроля» |

Вызовите редактор базы данных (пункт «Инструменты → База данных» Главного меню). Установите в «Редакторе базы данных» галочки в полях «Режим просмотра сигналов» и «Обновлять с интервалом» (Рисунок 43). В этом режиме «Редактор базы данных» отображает текущие значения сигналов, рассчитываемых схемой (а не начальные, задаваемые пользователем при редактировании базы данных). Убедитесь, что значение в таблице для сигнала **iq01** группы сигналов D1 соответствуют давлению в узле схемы.

Рисунок 43. Редактор базы данных в режиме просмотра значений сигналов для точки контроля.

Отметим, что созданные ранее сигналы для датчиков D2 и D3 нами не использованы, но могут быть задействованы при дальнейшей разработке схемы. Также, при коллективной работе, сначала как правило создается база сигналов, а уже потом к каждому объекту подключаются «реальные» данные. Это позволяет создавать алгоритмы управления без модели, используя уже «как бы» готовые датчики, а разработчик модели позже «привязывает» к датчикам те или иные расчетные параметры из модели. Либо наоборот, если модель создается ранее, показания точек контроля «висят» в базе данных, но еще никем не используются.