

AEROSYM 3.1.2

Руководство пользователя

Содержание

- 1. Введение**
 - 1.1. Установка, запуск и удаление программы
 - 1.2. Мультиязычная поддержка
- 2. Интерфейс**
 - 2.1. Общий вид окна программы, элементы управления
 - 2.2. Панель управления видами, работа с указателем мыши
 - 2.3. Расцветка и оповещения
 - 2.4. Диалоги оборудования и потоков
 - 2.5. Управление единицами измерения
 - 2.6. Управление видами
 - 2.7. Командная строка
 - 2.8. Настройки решателя
 - 2.9. Ускорение создания рабочей схемы
- 3. Моделирование**
 - 3.1. Выбор компонентов смеси
 - 3.2. Создание оборудования
 - 3.3. Создание и удаление связей
 - 3.4. Копирование модели
 - 3.5. Поворот оборудования
 - 3.6. Удаление элементов
 - 3.7. Деактивация части расчетной схемы
 - 3.8. Расчет схем с замкнутыми контурами
 - 3.9. Расчет схем с замкнутыми контурами с теплообменниками
- 4. Результаты расчета**
 - 4.1. Отображение результатов
 - 4.2. Создание Т-Р диаграмм
 - 4.3. Создание сводных таблиц и экспорт в Excel
- 5. Базовые элементы**

- 5.1. Диалог задания потока
 - 5.2. Задание потока энергии
 - 5.3. Аппарат воздушного охлаждения
 - 5.4. Компрессор
 - 5.5. Холодильник
 - 5.6. Нагреватель
 - 5.7. Детандер
 - 5.8. Теплообменник
 - 5.9. Эжектор
 - 5.10. Трубопровод
 - 5.11. Насос
 - 5.12. Клапан
 - 5.13. Разделитель
 - 5.14. Смеситель
 - 5.15. Сепаратор
 - 5.16.: Внутритрубный сепаратор
 - 5.17. Сепаратор трехфазный
 - 5.18. Сепаратор специальный
 - 5.19. Сепаратор с неполной сепарацией газа
 - 5.20. Фильтр
 - 5.21. Разделитель с фиксированным выходом
 - 5.22. Разделитель точечный
 - 5.23. Смеситель точечный
- 6. Элементы с фиксированной геометрией
 - 6.1. АВО-2 (с фиксированными параметрами)
 - 6.2. Теплообменник универсальный
 - 6.3. Теплообменник кожухо-трубчатый
 - 6.4. Теплообменник пластинчатый
 - 6.5. Эжектор с фиксированной геометрией
 - 7. Специальные элементы
 - 7.1. Задание потока
 - 7.2. Копия потока

- 7.3. Сенсор
 - 7.4. Текст
 - 7.5. Компонентный делитель
 - 7.6. Скрипт (макрос)
 - 7.7. Объект привязок
 - 7.8. Псевдокомпоненты
 - 7.9. Управление расходом
 - 7.10. Действие (кнопка)
 - 7.11. Элемент управления
 - 7.12. Элемент контроля
- 8. Элементы гидравлического расчета
 - 8.1. Гидравлический расчет
 - 8.2. Смеситель гидравлический
 - 8.3. Тройник гидравлический
 - 8.4. Дроссель
 - 8.5. Месторождение
 - 8.6. Скважина
 - 8.7. Потребитель
 - 8.8. Клапан регулирующий (гидравлический)
 - 8.9. Трубопровод гидравлический
 - 8.10. Скважинный насос
 - 8.11. Пласт
 - 8.12. Приращение давления
 - 9. Элементы для расчета колонн
 - 9.1. Колонна
 - 9.2. Колонна с конденсатором
 - 9.3. Колонна с ребойлером
 - 10. Специальные возможности
 - 10.1. Работа с базой данных датчиков
 - 10.2. Встроенные тесты
 - 10.3. Формат Excel для базы данных
 - 10.4. Диалог управления насосами

11. Подбор конфигурации манифольда
 - 11.1. Манифольд
 - 11.2. Реализованные алгоритмы
 - 11.3. Описание работы диалога манифольда
 - 11.4. Отключение потоков
 - 11.5. Упрощенный расчет потоков
 - 11.6. Рекомендуемая последовательность создания ИМ
 - 11.7. Пример создания ИМ
12. Список литературы

1. Введение

1.1. Установка, запуск и удаление программы

Программа Aerosym[©] не требует установки. Ее возможно запускать как непосредственно с поставляемого USB накопителя, так и предварительно скопировав на жесткий или сетевой диск папку с программой. Размещение ярлыка на рабочем столе или прикрепление к панели задач выполняется пользователем самостоятельно при необходимости.

Программа сохраняет информацию о языке, текущей папке пользователя и последних открытых файлах в системном реестре по адресу

Компьютер\HKEY_CURRENT_USER\Software\Aerogas\Aerosym

Для очистки системного реестра предназначен пункт меню

Файл>Выйти и почистить реестр.

Текущая расчетная схема при этом не сохраняется.

1.2. Мультиязычная поддержка

Программа Aerosym поддерживает два языка – английский и русский.

Переключение языка осуществляется в пункте меню. Перезапуск программы не требуется – все подписи, обозначения единиц измерения обновятся автоматически. При выходе из программы выбор языка будет сохранен в системном реестре и будет использован при последующем запуске. Изменение выбранного языка в процессе работы не влияет на прошлые сообщения в логе.

2. Интерфейс

2.1. Общий вид окна программы, элементы управления

При запуске программы создается одно окно (рис.2.1.1), в котором допускается работа с одной базой данных.

Элементами управления являются (номера соответствуют позициям на рис.2.1.1):

- 1 – главное меню,
- 2 – панель управления файлами (базами данных),
- 3 – панель управления видами и элементами расчетной схемы,
- 4 – панель специальных модулей,
- 5 – панель управления отображения результатов,
- 6 – окно сообщений,
- 7 – рабочая область,
- 8 – панель создания простого оборудования и потоков,
- 9 – панель создания сложного оборудования,
- 10 – панель создания элементов гидравлического расчета,
- 11 – панель создания элементов контроля и управления.

Элементы управления могут размещены пользователем в произвольном порядке, однако в текущей версии этот выбор не будет запомнен при выходе из

приложения. Чтобы скрыть или показать панели управления следует нажать правой кнопкой мыши вне рабочей области и выбрать соответствующую опцию.

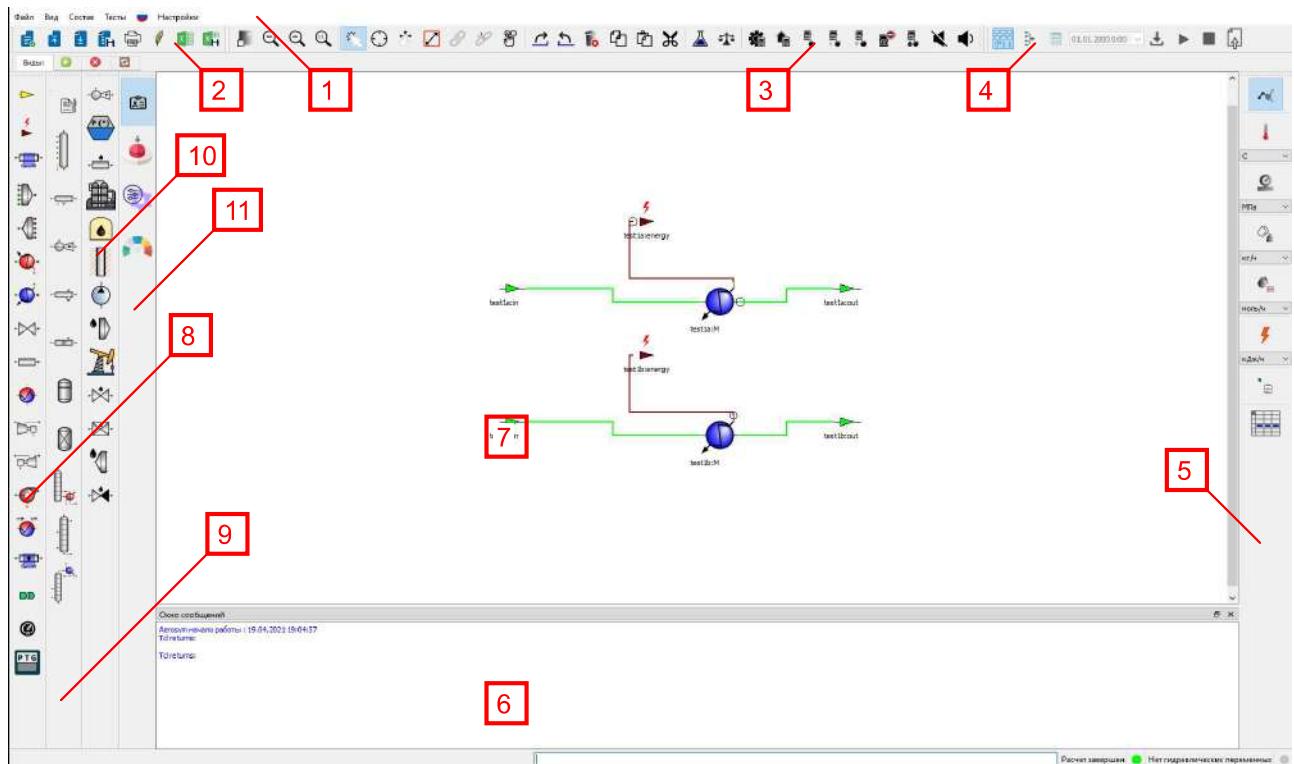


Рис.2.1.1 Общий вид окна программы Aerostim

В главном меню (рис.2.1.1, поз. 1) имеются следующие разделы

- файл: работа с базой данных, выход из приложения. Работа с файлами вынесена в специальную панель инструментов
- вид: 1 опция показать подписи, при которой все элементы управления сопровождаются пояснением (рис.2.1.2), иначе доступное как всплывающая подсказка, 2 ночной режим (черный экран)
- состав: задание компонентов смеси
- тесты: генерирование встроенных тестов
- выбор языка
- настройки: конфигурация решателя

- помочь: запуск браузера по умолчанию с Web версией руководства пользователя

В главном меню в пункте Файл доступна загрузка последних пяти баз данных, список которых хранится в системном реестре для каждого пользователя. Там же есть печать текущего содержимого окна в PDF файл, с использованием векторной графики.

Панель управления файлами содержит следующие действия:

- создать базу данных,
- открыть существующую базу данных,
- сохранить текущую базу данных,
- сохранить текущую базу данных под другим именем.

Стандартное расширение базы данных Aerosym – adb, при сохранении оно будет добавлено автоматически, если пользователь не укажет его явно.

2.2. Панель управления видами, работа с указателем мыши

На панели управлениями видами доступны следующие действия (номера соответствуют позициям на рис.2.2.2):

- 1 – показать все: видимая область масштабируется таким образом, чтобы показать всю расчетную схему,
- 2 – отдалить: уменьшение масштаба
- 3 – приблизить: увеличение масштаба
- 4 – 1:1 : естественный масштаб

- 5 – базовый режим
- 6 – вспомогательный режим центрировать: выбранный элемент помещается в центр видимой области.
- 7 – вспомогательный режим сместить: смещение видимой области.
- 8 – вспомогательный режим приблизить: видимая область выбирается рамкой.

Вспомогательные режимы служат, главным образом, для работы на планшете. Базовый режим включает в себя все вспомогательные режимы. Поворот колеса центральной кнопки приводит к приближению или удалению. Вспомогательные режимы "центрирование" и "приблизить" переключаются на базовый после соответствующего действия. Активный режим подсвечен синим на панели инструментов. Помимо режимов управления видом, имеются режимы создания удаления связей, которые описаны в соответствующем разделе.

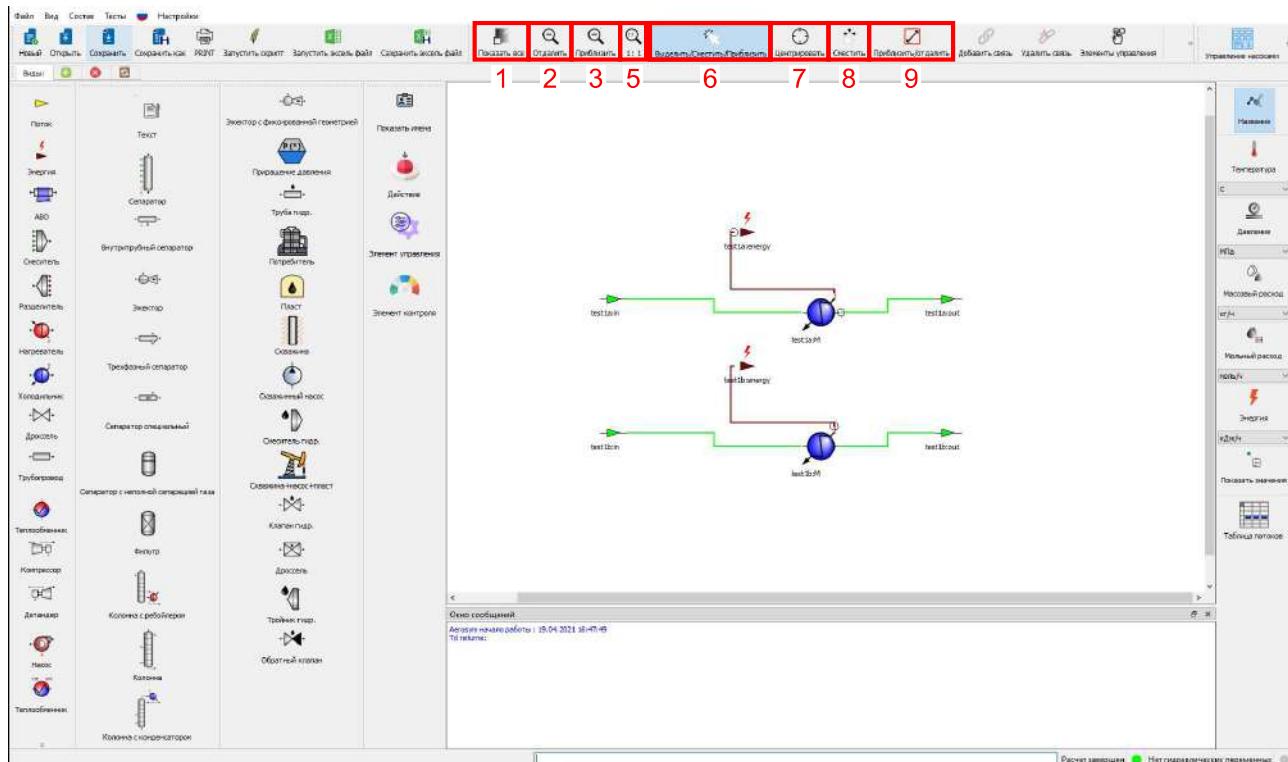


Рис.2.2.2 Общий вид окна программы Aerosym

В базовом режиме левой кнопкой мыши осуществляется выбор и смещение оборудования. При одиночном нажатии выбирается одно оборудование, а при нажатии совместно с клавишей shift предыдущий выбор дополняется. Перемещение указателя мыши при нажатой левой кнопки позволяет выбрать элементы в прямоугольной области. При нажатой клавише shift допускается выделить несколько областей последовательно. Выделенные объекты перемещаются при удержании нажатой левой кнопки мыши на одном из выбранных объектов. Нажатие левой кнопки на пустой области сбрасывает выделение.

Режим	Левая кнопка	Левая кнопка x2	Средняя кнопка	Средняя кнопка x2	Правая кнопка	Правая кнопка x2
Базовый	выбор	вызов диалога	смещение	центрирование	приблизить	показать все
центрирование	центрирование				выход из режима	
смещение	смещение				выход из режима	
приблизить	приблизить				выход из режима	

2.3. Расцветка и оповещения

Потоки и оборудование, полностью заданные и расчет которых прошел без каких-либо отклонений, отображаются на схеме в цвете (рис.2.3.3, поз.2). Они выделяются красным (рис.2.3.3, поз.4), если расчет самого оборудования или потока вызвал ошибку. В этом случае причина перевода оборудования в состояние ошибки указывается во всплывающей подсказке (рис.2.3.3, поз.5) и пишется в окно сообщений. Если оборудование или поток не задан, то они отображаются светло-серыми (рис.2.3.3, поз.3). Если расчет еще не произведен или его нет возможности произвести из-за неопределенности входящих потоков, то поток или оборудование показано желтым.

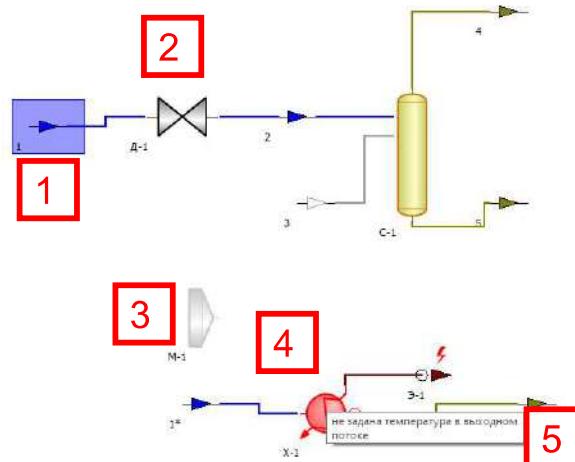


Рис.2.3.3 Отображение различных состояний элементов схемы

Выбранные пользователем элементы отображаются на синем фоне, вне зависимости от состояния данных элементов (рис.2.3.3, поз.1).

Цвет потоков энергии и соответствующих связующих линий всегда бордовый. Цвет потоков и связующих линий зависит от содержимого потока

- желтый, если поток не задан;
- зеленый, если присутствует только жидккая фаза;
- темно-зеленый, если присутствует только водная фаза;
- синий, если присутствует только газовая фаза;
- темно-синий если присутствуют как газовая, так и жидккая или водная фазы.

2.4. Диалоги оборудования и потоков

Двойной клик левой кнопкой мыши на оборудовании, потоке или энергетическом потоке приводит к вызову диалога, управляющим данным оборудованием, а также показывающим данные, получаемые в результате расчета. Эти диалоги имеют 2 или 3 кнопки – сохранить, отменить и (опционально) применить или рассчитать. При отмене все введенные пользователем данные удаляются и не вносятся в базу данных. При нажатии сохранить данные пользователя, если они корректны, сохраняются в базе данных, диалог закрывается и производится расчет. Если в полях диалога имеются некорректные данные, они подсвечиваются красным, диалог оставляется открытym и сохранения данных в базу не происходит. При нажатии

применить или рассчитать происходит сохранение данных в базу, расчет и обновление данных в диалоге. Сам диалог при этом не закрывается.

При запуске диалога выбираются системы единиц, являющиеся единицами по умолчанию для каждого типа данных (температура, массовый расход и т. д.). Данные, которые соответствуют данным в базе подсвечиваются синим оттенком, недопустимые данные – красным, измененные пользователем – желтым. Диалог задания потоков имеет собственные правила подсветки.

В верхней части диалога расположено поле ввода имени оборудования или потока. Как правило, имя задается при создании автоматически: для потоков это просто порядковые номера, для остальных элементов некоторый префикс и первый свободный порядковый номер. Пространство имен – общее для элементов всех типов. Совпадение имен не допускается.

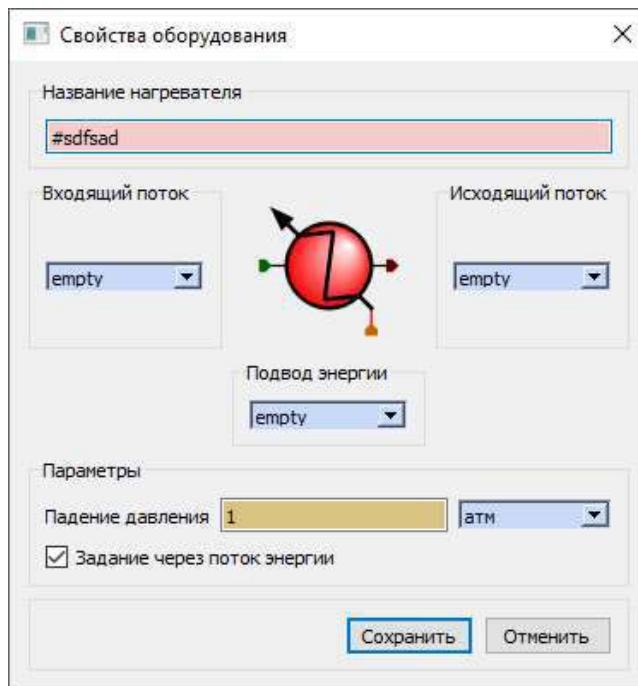


Рис.2.4.4 Диалог оборудования, подсветка данных

2.5. Управление единицами измерения

Для вызова диалога управления единицами измерения следует нажать кнопку на панели управления (рис.2.5.5, поз.1). Окно диалога показано на рис.2.5.6. В каждой базе хранится своя версия единиц измерения по умолчанию – именно эти единицы активны при вызове диалогов оборудования. Следует отметить, что единицы измерения отображения результатов, задаваемые на панели результатов (рис.2.5.5, поз.2), не связаны с единицами по умолчанию.

Aerosym так же хранит версию выбора систем единиц в системном реестре, и использует ее при создании новой базы. Диалог служит для отображения и изменения набора систем единиц как в текущей базе, так и в системном реестре.

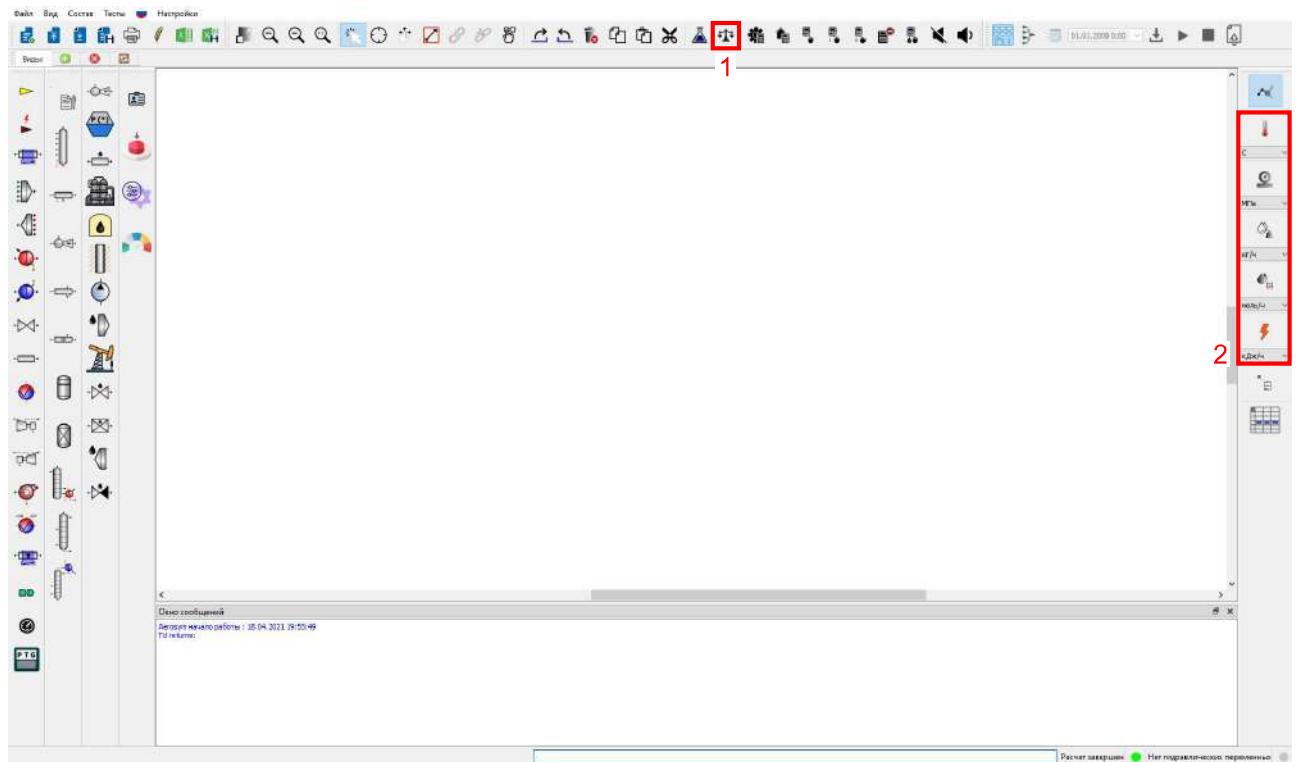


Рис.2.5.5 Системы единиц на панели результатов

 Единицы измерения X

Давление	атм	Вязкость	Па ^з
Температура	С	Теплопроводность	Вт/м/К
Длина	м	Диаметр	мм
Площадь	м ²	Коэффициент теплопередачи	Вт/м ² /К
Вращательная скорость	м/с	Коэффициент поверхностного натяжения	Н/м
Скорость вращения	об/мин	Продуктивность скважины	м ³ /(ч*атм)
Энергия	кДж/ч	Объемный расход	м ³ /сут
Мольный расход	моль/ч	Фильтрационный коэффициент А	Па ² с/м ³
Массовый расход	кг/ч	Фильтрационный коэффициент В	Па ² с ² /м ⁶
Молярная энталпия	кДж/кмоль	Газовый фактор	м ³ /т
Молярная энтропия	кДж/(кмоль*С)	Коэффициент пропускной способности клапана	м ³ /с/sqrt(атм)
Удельная энталпия	кДж/кг	Объем	м ³
Удельная энтропия	кДж/(кг*С)	Время	sec
Молярная теплоемкость	кДж/(кмоль*С)	Унос жидкости	г/ст.м ³
Удельная теплоемкость	кДж/(кг*С)	Термическое сопротивление	м*К/Вт
Плотность	кг/м ³		

Загрузить из реестра

Загрузить из базы

Сохранить в реестре

Сохранить в базе

Отменить

Рис.2.5.6 Диалог управления системами единиц

2.6. Управление видами

Для работы с видами служит специальная панель инструментов (рис.2.6.7). Она содержит три кнопки: создания вида, удаления вида и сохранения. Да каждого вида создаётся закладка, при выделении закладки рабочая область приводится к данному виду, закладка вида выделяется белым фоном. Текущий вид помечается символом звезды. Если пользователь изменяет рабочую область, то закладка текущего вида становится серой так как рабочая область уже не соответствует текущему виду. Удаление и сохранение выполняется для текущего вида. Для изменения имени вида следует дважды кликнуть на имя и нажать ввод после его коррекции. Клавиши PageUp PageDown используются для переключения видов вперед и назад.

Все виды сохраняются в базе, в том числе в Excel формате, для чего используется таблица views.

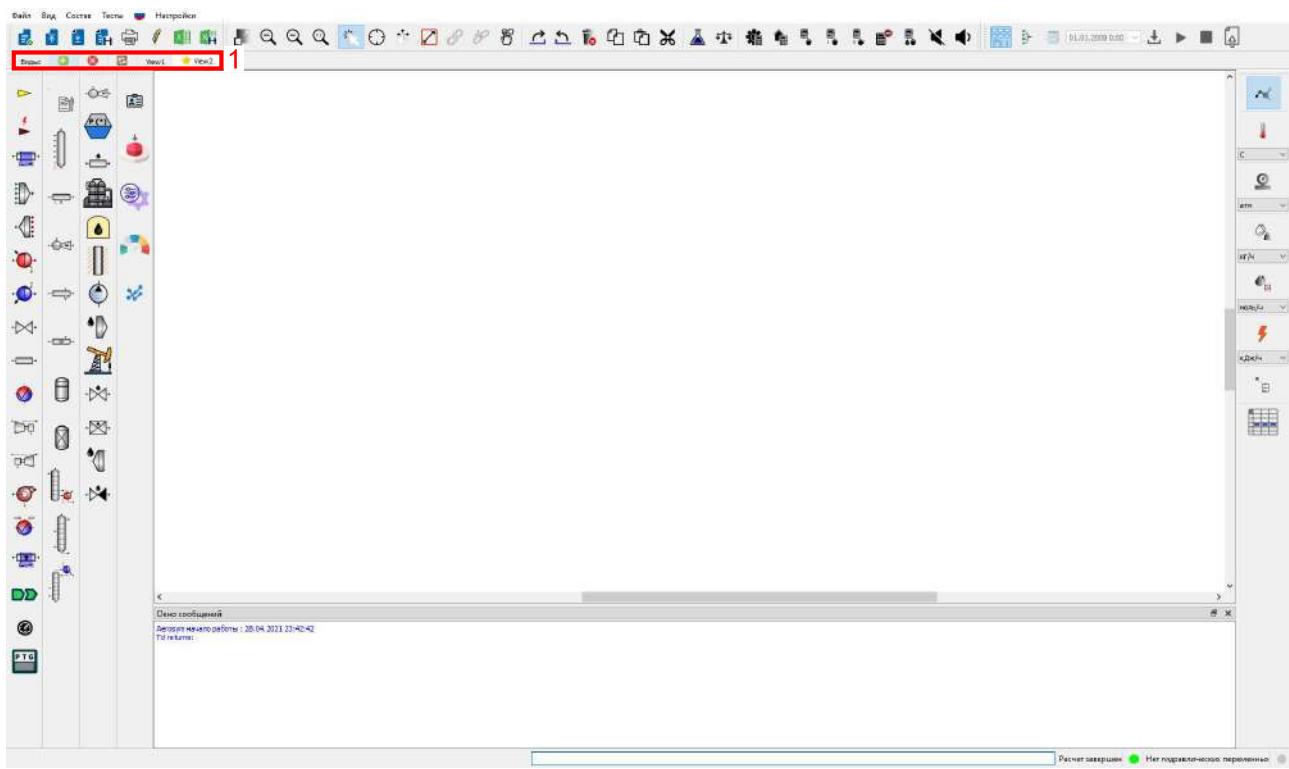


Рис.2.6.7 Управление видами

2.7. Командная строка

В Aerosym встроен командный язык на основе Tcl. Загрузка скриптов доступна через панель инструментов или меню. Командная строка расположена под окном лога. Ответ интерпретатора на ввод команды отображается в логе. Стрелка вверх, нажатая в командной строке, выбирает одну из предыдущих команд.

Для поиска элемента схемы по имени используется команда `find`, после которой следует вбить часть имени и нажать ввод. Поиск будет происходить по шаблону `*имя*`, где `*` – пустая строка, один или несколько произвольных символов. Если найден один элемент, соответствующий шаблону, расчетная схема будет центрирована по нему. В случае нескольких подходящих элементов, они будут выведены в окно лога с номерами и следует повторить команду `find` с тем же параметром и выбранным номером в качестве дополнительного аргумента.

Команды :

`@? id stream1` – возвращает id элемента с именем `stream1`;

`@ 3 Pres` – возвращает давление в потоке с `id=3`, в атмосферах;

`@ 3 Temp` – возвращает температуру в потоке с `id=3`, в Кельвинах;

`@ 3 MassFlow` – возвращает массовый расход в потоке с `id=3`, в кг/ч;

`@= 3 Pres 2.` – устанавливает давление в потоке с `id=3` в 2 атмосферы;

`@= 3 Temp 200` – устанавливает температуру в потоке с `id=3` равную 200К;

`@= 3 Flow 1e3` – устанавливает массовый расход в потоке с `id=3` в 1000кг/ч;

`@update` – расчет схемы;

После выполнения команды или скрипта схема переводится в состояние "требуется расчет" вне зависимости от содержания команды или скрипта.

2.8. Настройки решателя

Вызов диалога конфигурации решателя осуществляется нажатием пункта меню "Настройки". На вкладке "Расчет" производится включение/отключение паррельных вычислений. При включенном флаге "Гидравлический расчет - информация" перед расчетом в окно лога выводится таблица гидравлических переменных и уравнений.

На вкладке свойства задается используемое уравнение состояния (доступно – Пенг-Робинсон-76 и Пенг-Робинсон-78), методика расчета плотности жидкости, вязкости, теплопроводности и теплоемкости жидкости.

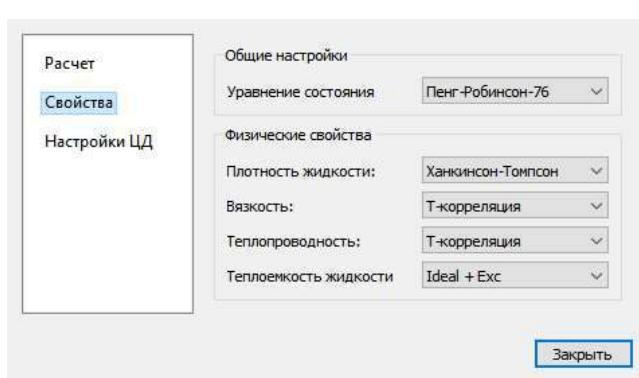
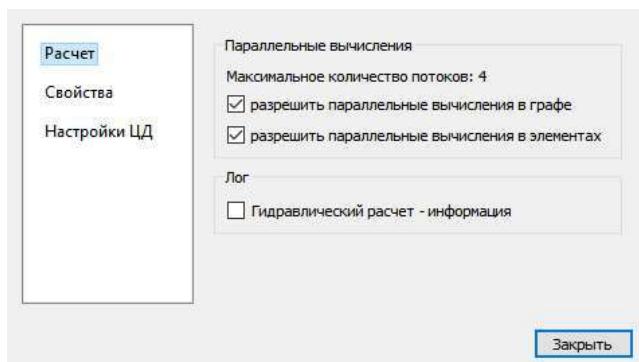
Для плотности жидкости по умолчанию используется метод Ханкинсона-Томпсона, доступен также расчет по уравнению состояния (EOS). Следует отметить, что плотность жидкости, рассчитанная по уравнению состояния, может существенно отличаться от экспериментальных данных.

Для вязкости и теплопроводности доступен только расчет по Т-корреляциям. Для теплоемкости жидкости досупен метод расчета как сумма теплоемкости

идеального газа и отклонения.

Для режима последовательных расчетов с обновлением значений датчиков из базы данных на вкладке "Настройки ЦД" задаются два параметра – задержка между расчетами, и временной шаг.

Настройки не сохраняются при выходе из программы.



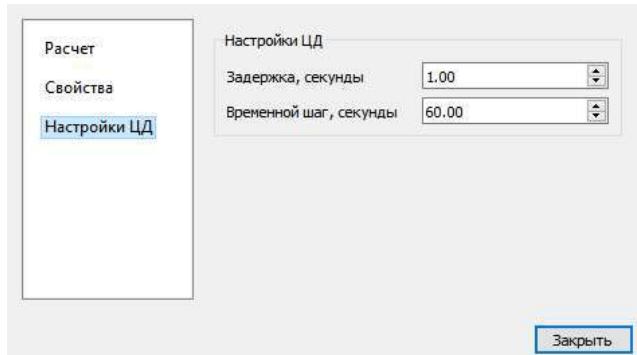


Рис.2.8.10 Настройки ЦД

2.9. Ускорение создания рабочей схемы

Ниже даны пункты, знание и использование которых облегчит создание и изменение рабочей схемы.

Левая кнопка мыши – выделение, выделение нескольких объектов с Shift, двойной клик - вызов диалога.

Средняя кнопка мыши – перемещение схемы, колесо прокрутки - приблизить/отдалить.

Правая кнопка мыши – зум по рамке, двойной клик - показать все.

Создание нескольких однотипных объектов с Shift.

Esc или правая кнопка мыши для выхода из режимов создания элементов, связей и т.д.

PageUp PageDown – переключение видов.

Стрелка вверх/вниз над оборудованием типа насос, вентиль, задвижка, дроссель – управление параметром.

Кнопка r – поворот выделенных объектов, e – вставка потока энергии, m – вставка потока, j – включение/выключение режима создания связей, b – включение/выключение режима разрыва связей.

3. Моделирование

3.1. Выбор компонентов смеси

Перед созданием схемы следует определиться со списком компонентов смеси. Этот список будет един для всех элементов расчетной схемы. Для задания списка следует выбрать пункт меню Состав/Выбрать компоненты или нажать на кнопку на панели управления (рис.3.1.1, поз.1). Далее в диалоге пользователю будет предложено добавить компоненты в список выбранных, или же, наоборот, удалить компоненты из этого списка. При нажатии сохранить выбор пользователя сохраняется в базе, выполняется обновление потоков и пересчет всей модели.

Добавленные компоненты получают массовую или мольную долю равную нулю, расходы потоков не изменяются. В потоках, заданных через массовые или мольные доли, удаление компонентов приводит к перенормировке долей оставшихся компонентов, при этом заданный суммарный массовый или же мольный расход не меняется. В потоках, заданных через массовые или мольные расходы компонентов, удаление компонента не меняет эти расходы для остальных компонентов, таким образом, изменяются суммарные расходы.

После сохранения списка компонентов происходит автоматический пересчет всей расчетной схемы или сброс в состояние "требуется расчет", в зависимости от типа расчетной схемы и настроек.

Не рекомендуется использовать в одном моделировании компоненты с

префиксом CS- и без него, так как они относятся к разным библиотекам, а коэффициенты парного взаимодействия для компонентов из разных библиотек неопределены.

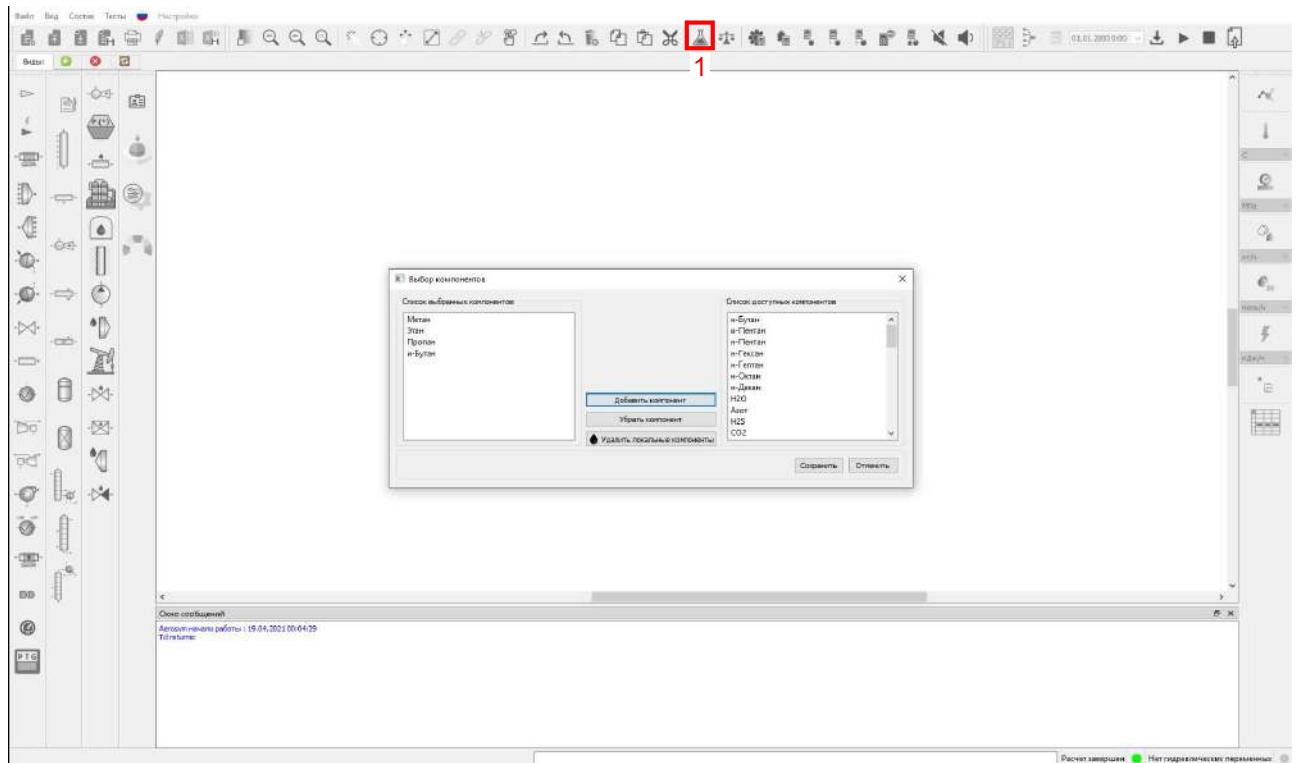


Рис.3.1.1 Диалог выбора компонентов

3.2. Создание оборудования

Для создания оборудования следует нажать на одной из панелей оборудования соответствующую кнопку и далее нажатием левой кнопки мыши указать место вставки на рабочей области. При вставке нового оборудования подсвечиваются его контуры. Если в указанном месте недостаточно свободного пространства для размещения оборудования, то вставка не производится, но режим вставки сохраняется. После успешного создания оборудования режим вставки прекращается. Чтобы за один раз создать несколько копий оборудования

одного типа, следует удерживать shift при нажатии левой кнопки мыши. Выход из режима создания оборудования осуществляется нажатием клавиши Esc или повторным нажатием активной кнопки на панели инструментов. Оборудование размещается и перемещается по координатной сетке с фиксированным шагом, что позволяет выравнивать линии связей между оборудованием.

3.3. Создание и удаление связей

Создавать и удалять связи оборудования и потоков возможно в диалогах оборудования в выпадающих списках (рис.3.3.2). Незаданный поток обозначается как empty. Будут предложены все доступные потоки определенного типа, а также потоки, задействованные в данном оборудовании того же типа. Так, для задания входного потока в список попадут потоки, у которых свободен выход и задействованные в этом оборудовании входные потоки. Данный способ задания имеет ограничение, которое заключается в том, что текущий выбор пользователя в диалоге не изменяет содержимое других списков. Поэтому пользователь может выбрать один и тот же поток в нескольких списках. Подобный некорректный выбор блокируется при попытке сохранить изменения.

Более удобный способ создания связей состоит в указании входов и выходов непосредственно на расчетной схеме. Этот режим инициируется нажатием кнопки "Добавить связь" на панели инструментов (рис.3.3.3, поз.1). За один раз допускается создать произвольное количество связей, выход из данного режима осуществляется нажатием правой кнопки мыши или выбором другого режима на панели инструментов.

При включении режима создания связей у оборудования и потоков отображаются коннекторы, которые выбираются левой кнопкой мыши. Выбранными могут быть один свободный коннектор у потока или

энергетического потока, и один свободный коннектор у оборудования. Выбранные коннекторы отмечаются зеленой окружностью (рис.3.3.3, поз.3). как только пара выбранных коннекторов становятся сопрягаемыми, то есть являются одного типа – поток или энергия, и разных направлений – вход и выход, то создается связь.

Для удаления связей в диалоге оборудования достаточно выбрать empty в выпадающем списке задания потока. Альтернатива этому – удаление на расчетной схеме. Режим удаления связей включается кнопкой на панели инструментов (рис.3.3.3, поз2), и прекращается при нажатии правой кнопки или при переключении на другой режим. Для удаления связей следует нажать левую кнопку и, удерживая ее, пересечь подлежащие удалению связи. На расчетной схеме при этом рисуется отрезающая линия красного цвета. За один раз удаляются все пересеченные связи.

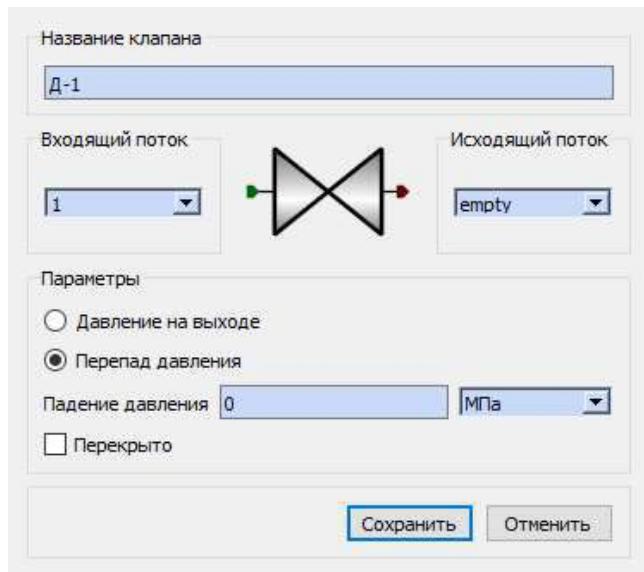


Рис.3.3.2 Выбор потоков в диалоге оборудования

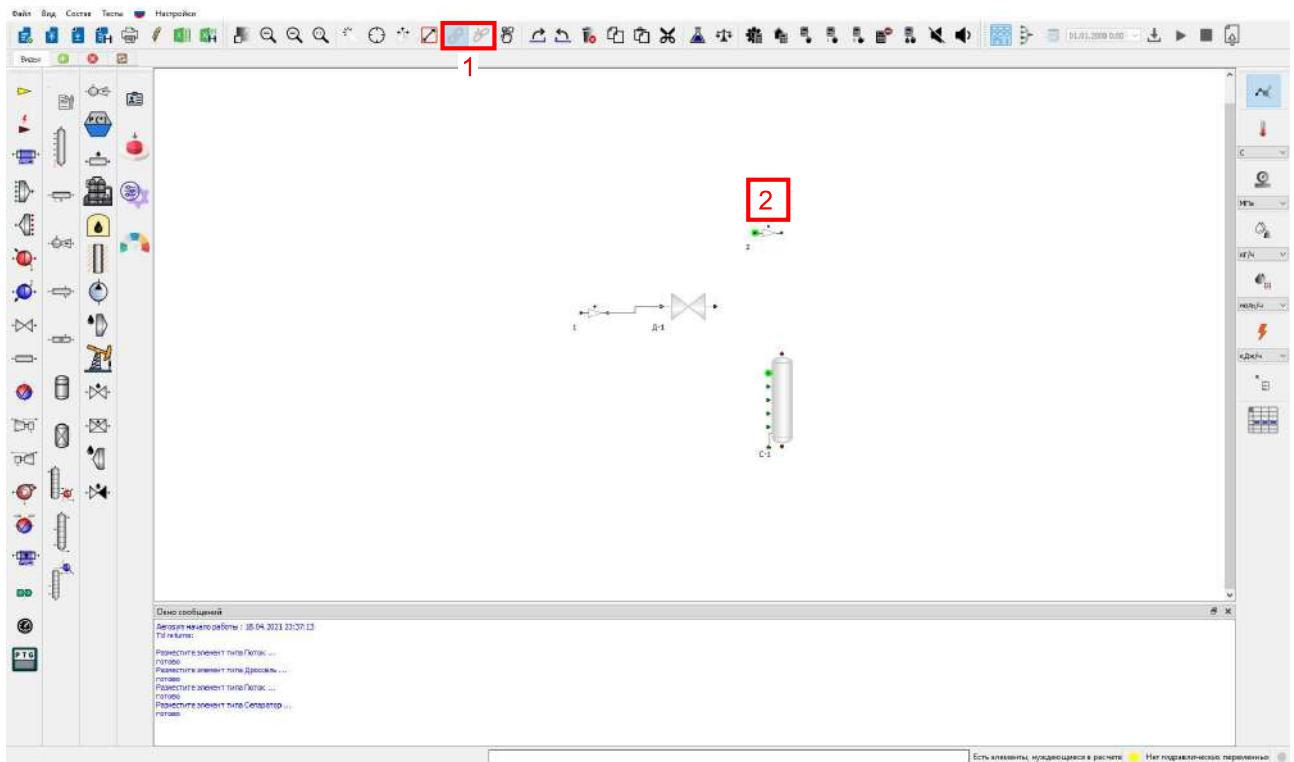


Рис.3.3.3 Создание связей

3.4. Копирование модели

Любая часть модели, или же модель целиком, может быть скопирована в рамках этого же проекта или перенесена в другой проект (другую запущенную версию Aerosym). При этом используется системный буфер, о чем следует помнить при одновременной работе с несколькими разными приложениями. Вызов процедур копирования, вставки и вырезания (одновременного копирования и удаления) осуществляется как стандартными горячими клавишами (Ctrl-C, Ctrl-V и Ctrl-X), так и кнопками на панели управления (рис.3.4.4, поз 1). При копировании и вырезании выделенные элементы и связи между ними (рис.3.4.4, поз.2) помещаются в буфер обмена. Если в этом или другом приложении Aerosym вызвать команду вставки, то вставляемые

элементы без связей будут отображаться контурами (рис.3.4.4, поз.3), и пользователь должен выбрать для них свободную область и нажать левой кнопкой мыши. Для отмены режима вставки следует нажать Esc.

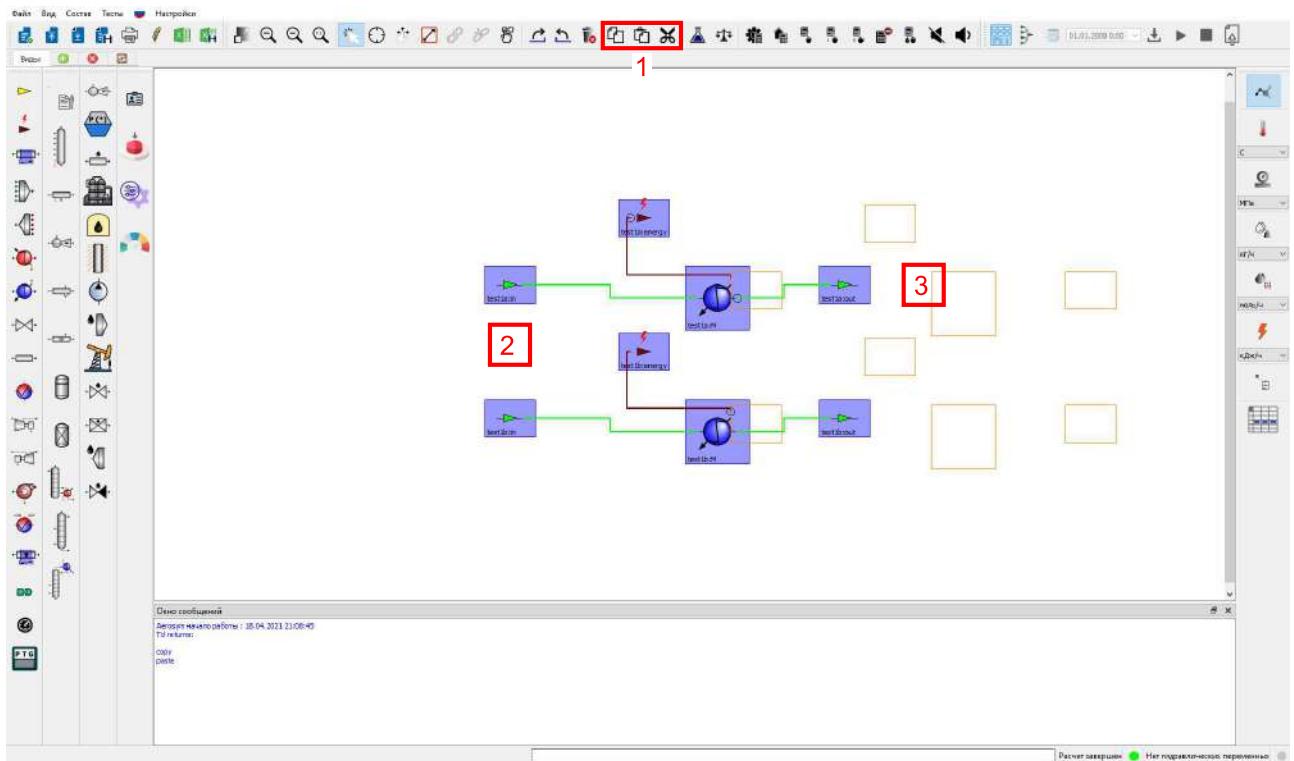


Рис.3.4.4 Копирование

3.5. Поворот оборудования

Оборудование и потоки, за исключением сепараторов и колонн, могут быть повернуты на угол, кратный 90 градусам. Для этого следует выбрать одно оборудование или поток и нажать одну из кнопок на панели управления – повернуть направо или повернуть налево (рис.3.5.5, поз.1).

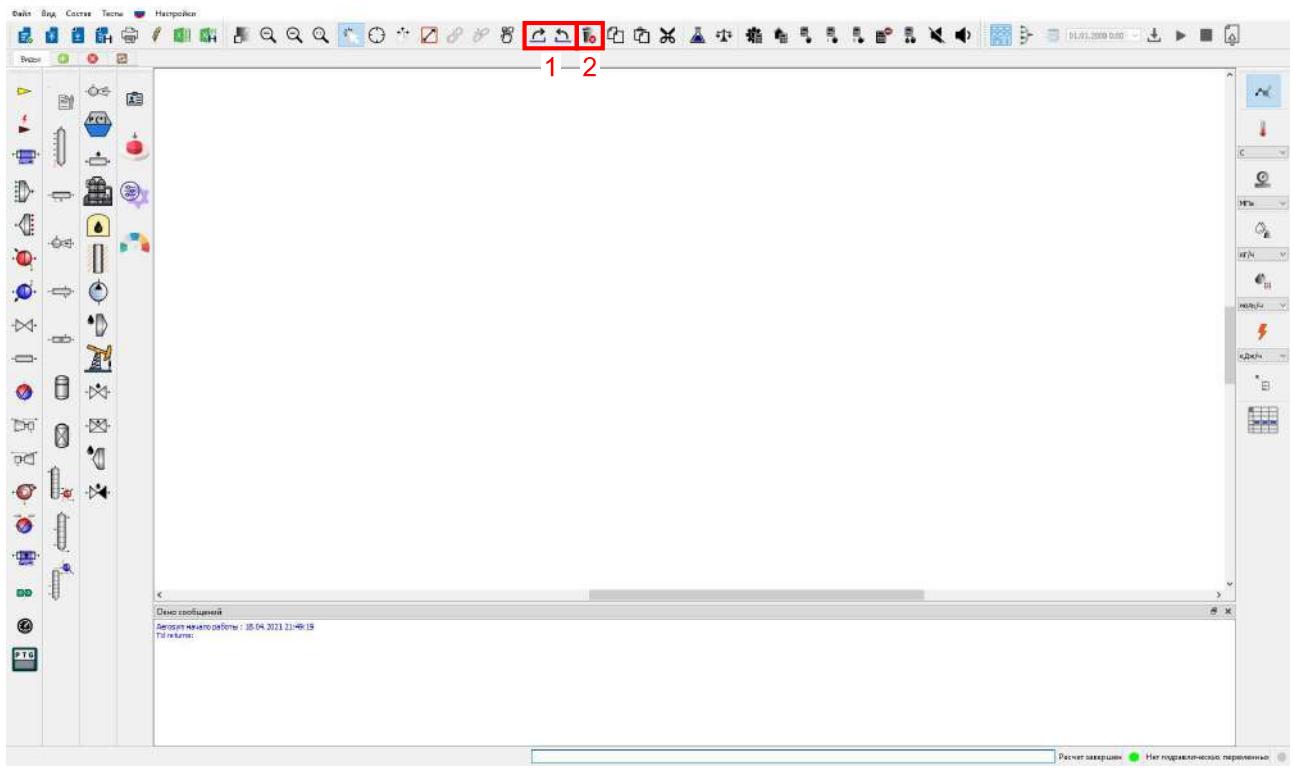


Рис.3.5.5 Поворот и удаление элементов

3.6. Удаление элементов

Для удаления элементов следует сначала выбрать элементы, нажать клавишу Delete или кнопку "Удалить" на панели инструментов (рис.3.6.5, поз.2) и подтвердить удаление во всплывающем диалоге.

3.7. Деактивация части расчетной схемы



Инструмент : деактивировать элементы;



Инструмент : активировать элементы; панель инструментов : специальные инструменты

Для деактивации части расчетной схемы следует выбрать один или несколько элементов и нажать кнопку деактивации (поз.А рис.3.7.6). Деактивируемый элемент (поз.С) показывается серым в красной рамке. Все зависимые элементы деактивируются автоматически и показываются серым в серой рамке (поз.Д). Для обратной активации части схемы следует выбрать деактивированный элемент (поз.С) и нажать кнопку активации (поз.В).

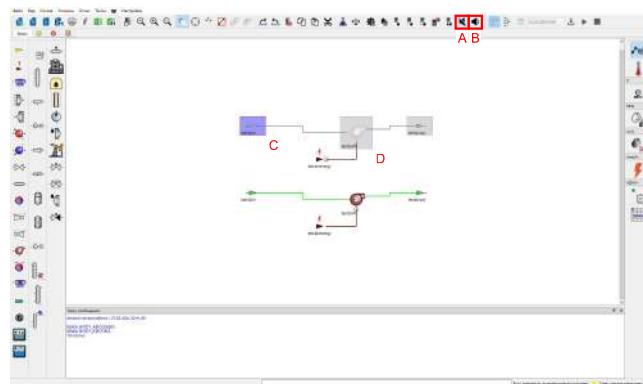


Рис.3.7.6 Деактивация части схемы

3.8. Расчет схем с замкнутыми контурами

Допускается создавать расчетные схемы с одним или несколькими замкнутыми контурами. При этом программа автоматически распознает такие контуры и для каждого выделяет один поток, который разрывает контур. Такие потоки, называемые ниже реверсными, отображаются в окружности (рис.1.2.51, поток 7). Для решения подобных схем требуется итерационный процесс. Сходимость итераций проверяется по параметрам реверсных потоков – давлению, температуре, расходу.

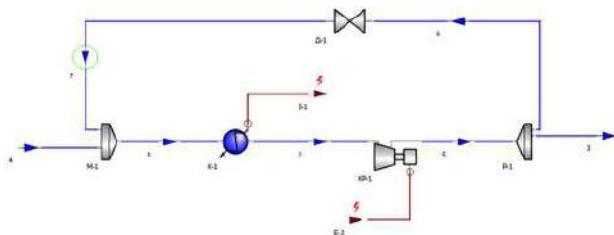


Рис.3.8.7 Пример схемы с замкнутым контуром

Кнопки управления итерационным процессом и диалог параметров итерационного процесса показаны на рис.3.8.8. Назначение кнопок слева направо:

- вызов диалога;
- задание начальных данных в реверсных элементах;
- запуск расчета до достижения сходимости или превышения допустимого числа итераций;
- запуск одной итерации;
- запуск расчета одного элемента схемы;
- прерывание итераций.

В диалоге задаются критерии сходимости для параметров потока, а также лимитирующее значение количества итераций. Если расчет не сошелся, то элементы схемы будут желтыми, если сошелся – примут базовый вид.

Для схем с итерационными расчетами или схем со сложными элементами типа колонн имеется три режима запуска расчета:

- ручной, при котором расчет запускается пользователем;
- автоматический, при котором после любого изменения в схеме запускается итерационный (если требуется) расчет с учетом лимитирующего значения количества итераций;
- автоматический для простых схем, при котором для схем без контуров расчет запускается автоматически, а для схем с контурами – только пользователем.

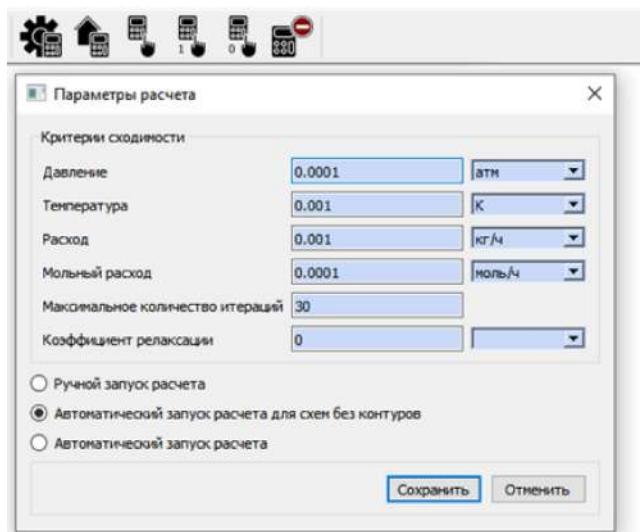


Рис.3.8.8 Диалог управления итерациями

При запуске итераций берутся текущие значения в потоках, либо начальные условия, которые соответствуют температуре 20°C, давлению 1атм и нулевому расходу. Принудительное задание начальных условий во всех реверсных потоках выполняется соответствующей кнопкой на панели инструментов.

Значение расхода на новой итерации для потоков, замыкающих контур (определяются автоматически и выделены на схеме кругом), определяется по формуле

$$G_{old} + (1 - r) * (G_{new} - G_{old})$$

G_{old} – расход предыдущей итерации, r – коэффициент релаксации, G_{new} – новый расход. Коэффициент релаксации по расходам призван улучшить сходимость схем с множеством контуров.

Если в замкнутом контуре есть элементы с падением давления, но отсутствует насос или компрессор, то в результате итераций будет происходить планомерное снижение давления без сходимости. Аналогичное явление расходимости можно наблюдать для полностью замкнутых схем, в которых подвод и отвод энергии не сбалансирован.

3.9. Расчет схем с замкнутыми контурами с теплообменниками

Теплообменник с фиксированной температурой на одном из выходов, по сути, есть сложная схема из простых элементов – холодильника и нагревателя, между которыми имеется передача энергии (рис.3.9.9). В зависимости от направления этой внутренней связи может меняться замкнутость контуров в схеме.

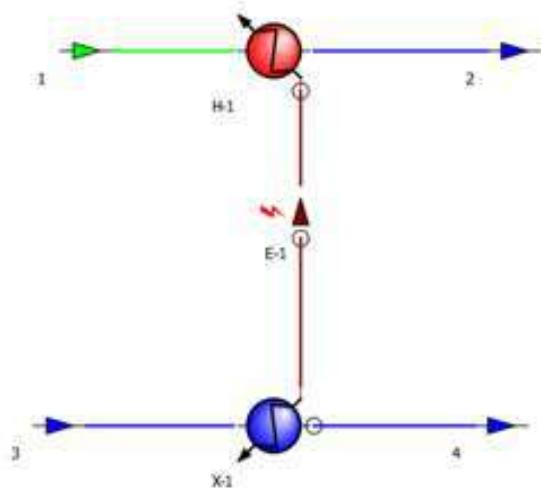


Рис.3.9.10 Условная расчетная схема теплообменника

Для простой схемы с направлением выхода трубного пространства во вход межтрубного, замкнутый контур не образуется, если задана температура на выходе из трубного пространства (рис.3.9.11). Поэтому для расчета такой схемы требуется одна итерация.

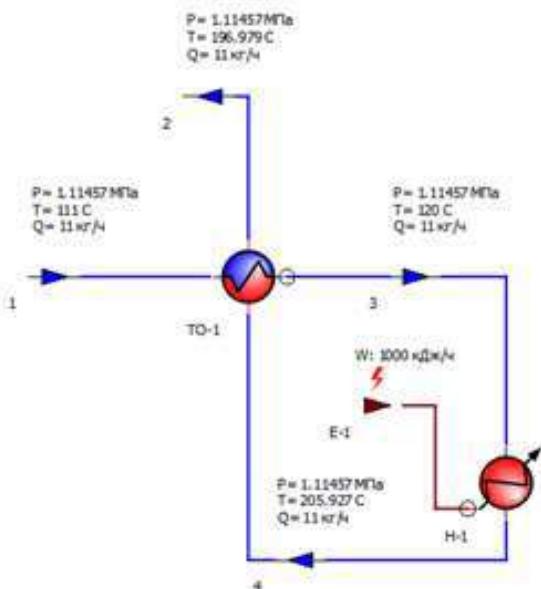


Рис.3.9.11 Простая схема с теплообменником

Если же задана температура на выходе из межтрубного пространства, то в схеме имеется замкнутый контур и для расчета требуются итерационный процесс (рис.3.9.12).

В подобных случаях для запуска итераций используется оценочная температура на выходе, отличном от выхода с фиксированной температурой. Эта оценочная температура указывается в диалоге теплообменника на специальной вкладке (рис.3.9.13). Сходимость схемы определяется адекватностью начального приближения – при 20°C в приведенном примере будет наблюдаться расходимость, при 120°C – решение будет получено (рис.3.9.14).

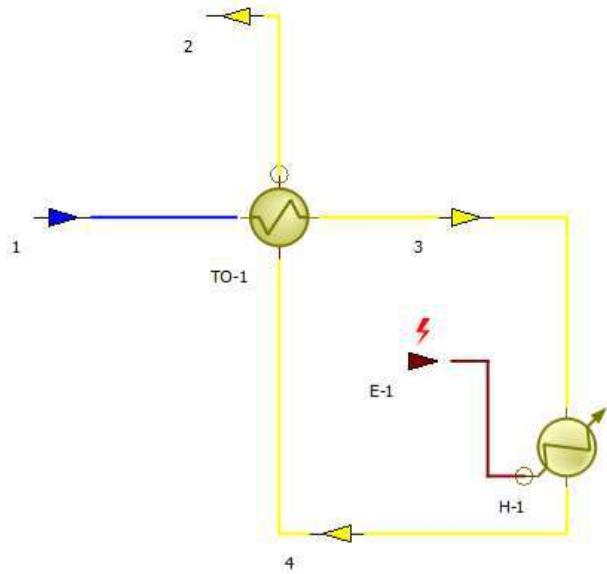


Рис.3.9.12 Схема с теплообменником и замкнутым контуром

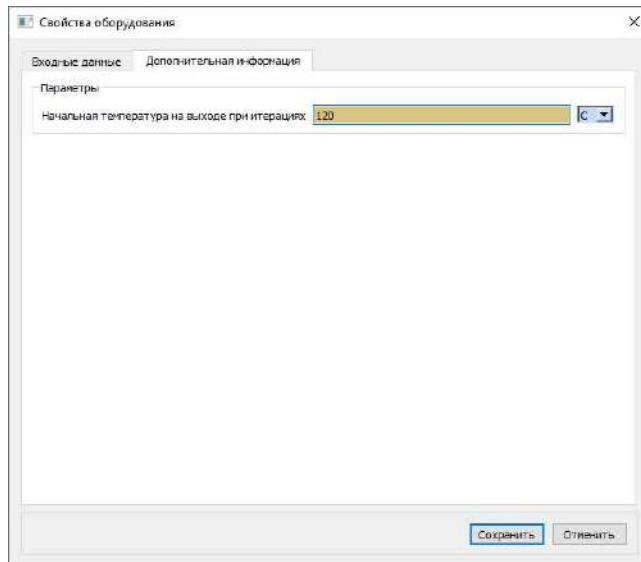


Рис.3.9.13 Задание начальной температуры для второго выхода

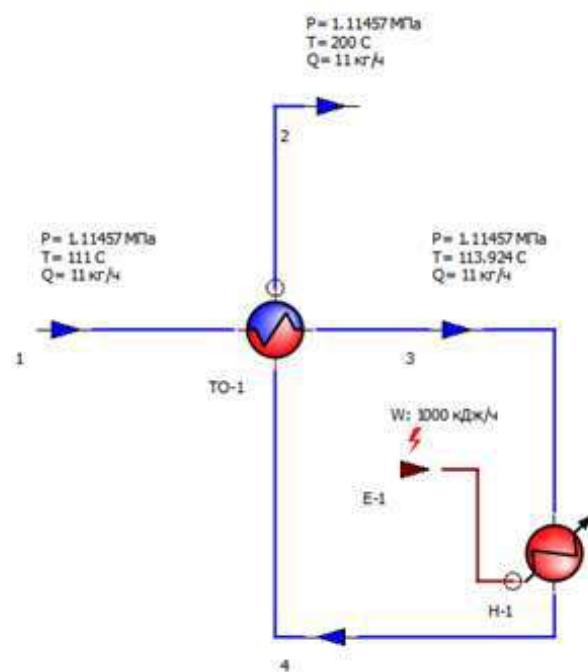


Рис.3.9.14 Результат расчета схемы с замкнутым контуром

4. Результаты расчета

4.1. Отображение результатов

Результаты расчетов для оборудования (например, геометрические параметры эжектора) доступны в диалогах оборудования. Для просмотра результатов для потоков и энергетических потоков существует несколько способов:

- в диалоге;
- вместо названия потока;
- в виде всплывающей подсказки;
- в виде подписей сверху оборудования.

В диалоге потока помимо базовой информации (температура, давление и расход), на вкладке параметры выводится весь доступный список параметров: энталпия, энтропия, Z-фактор и так далее. При запуске диалога все единицы измерения берутся значениями по умолчанию, пользователь может посмотреть результаты в других доступных единицах, однако его выбор не сохраняется при выходе из диалога.

Для вывода одного базового результата (температура, давление, массовый и

мольный расходы) следует нажать одну из четырех кнопок на панели результатов (рис.4.1.1, поз.4). под каждой кнопкой имеется выбор единиц измерения. Для потока энергии можно независимо нажать соответствующую кнопку (там же, поз.5). Значения будут отображаться под потоками вместо имен (там же, поз.1 и 2). Для возврата отображения имен следует нажать верхнюю кнопку панели инструментов (там же, поз.3).

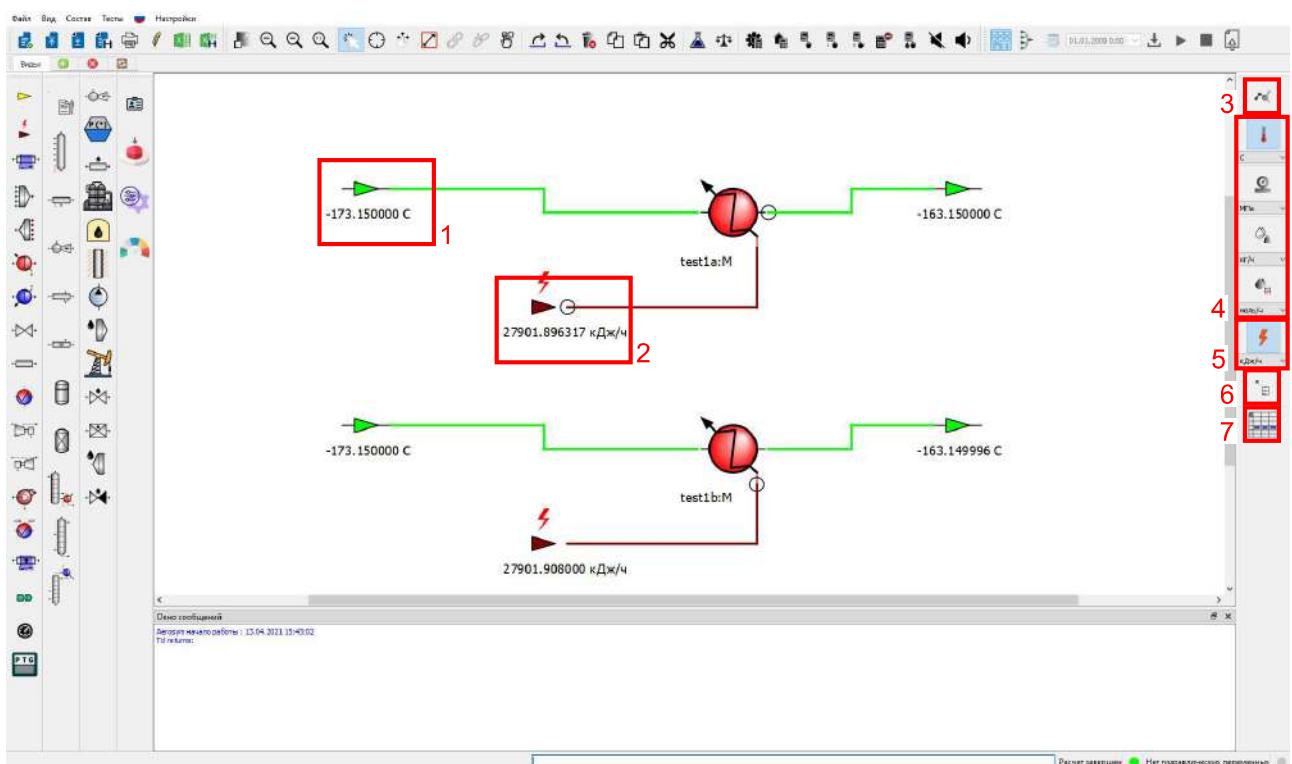


Рис.4.1.2 Панель управления отображения результатов

Кнопка показать значения (рис.4.1.2, поз.6) выводит четыре базовые значения над потоками (рис.4.1.3, поз.2) и одно значение над энергетическими потоками. Единицы измерения берутся из выпадающих списков на панели результатов и обновляются автоматически. Повторное нажатие кнопки отключает отображение результатов. Всплывающие подсказки (рис.4.1.3, поз.1) содержат результаты и отображаются при удерживании курсора мыши над потоком без нажатия кнопок. Единицы измерения определяются списками на панели

инструментов. Состав всплывающей подсказки фиксирован – давление, температура, массовый и мольный потоки. Состав статической справки над потоком настраивается для каждого потока в его диалоге (рис.4.1.4). Существует пользовательский режим задания подсказки, в котором %t %p %f %m заменяются на значения температуры, давления, массового расхода и мольного расхода, а %ut %up %uf %um на соответствующие единицы измерения. Удвоенная запятая заменяется на символ новой строки.

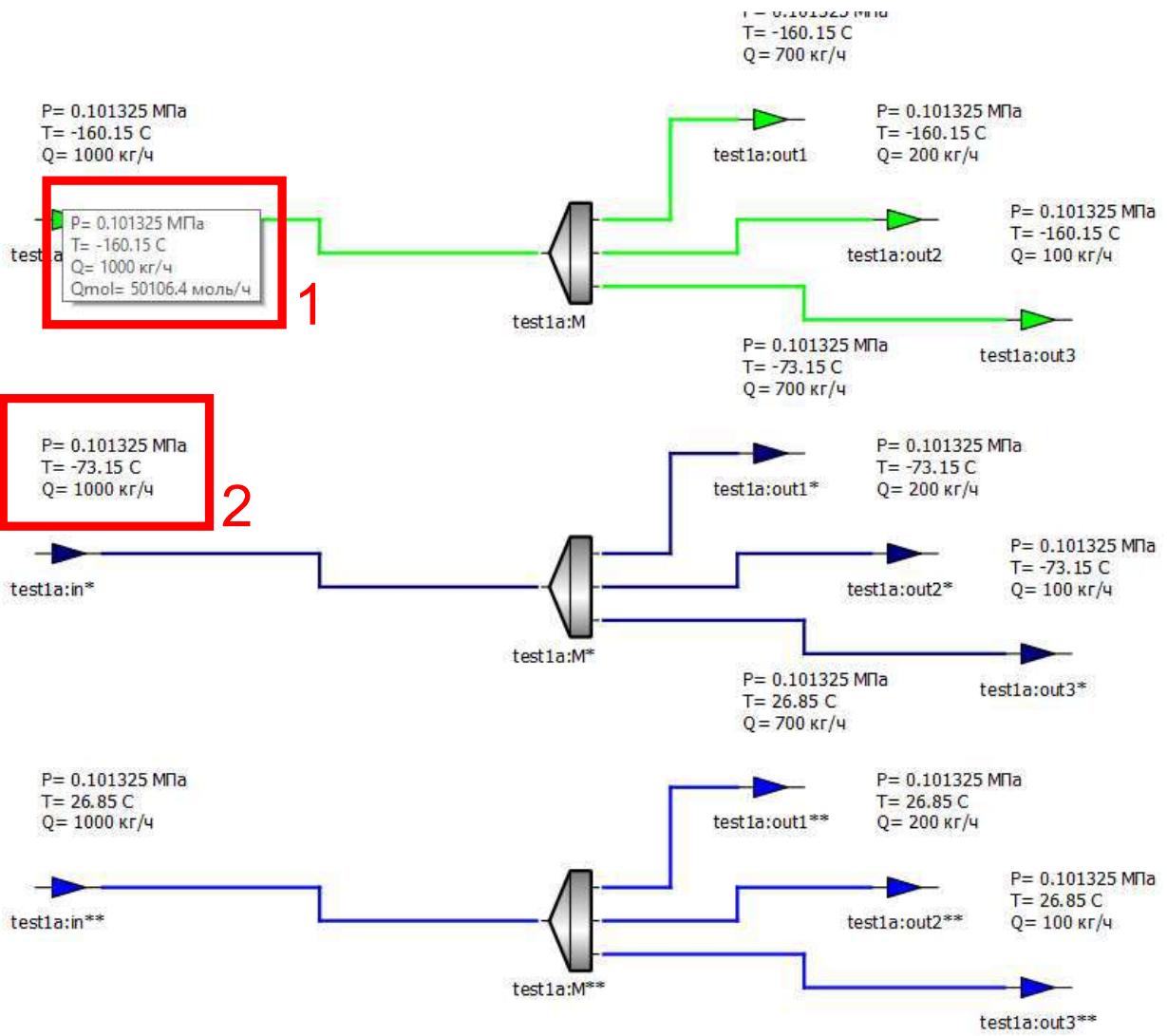


Рис.4.1.3 Всплывающая справка по потоку

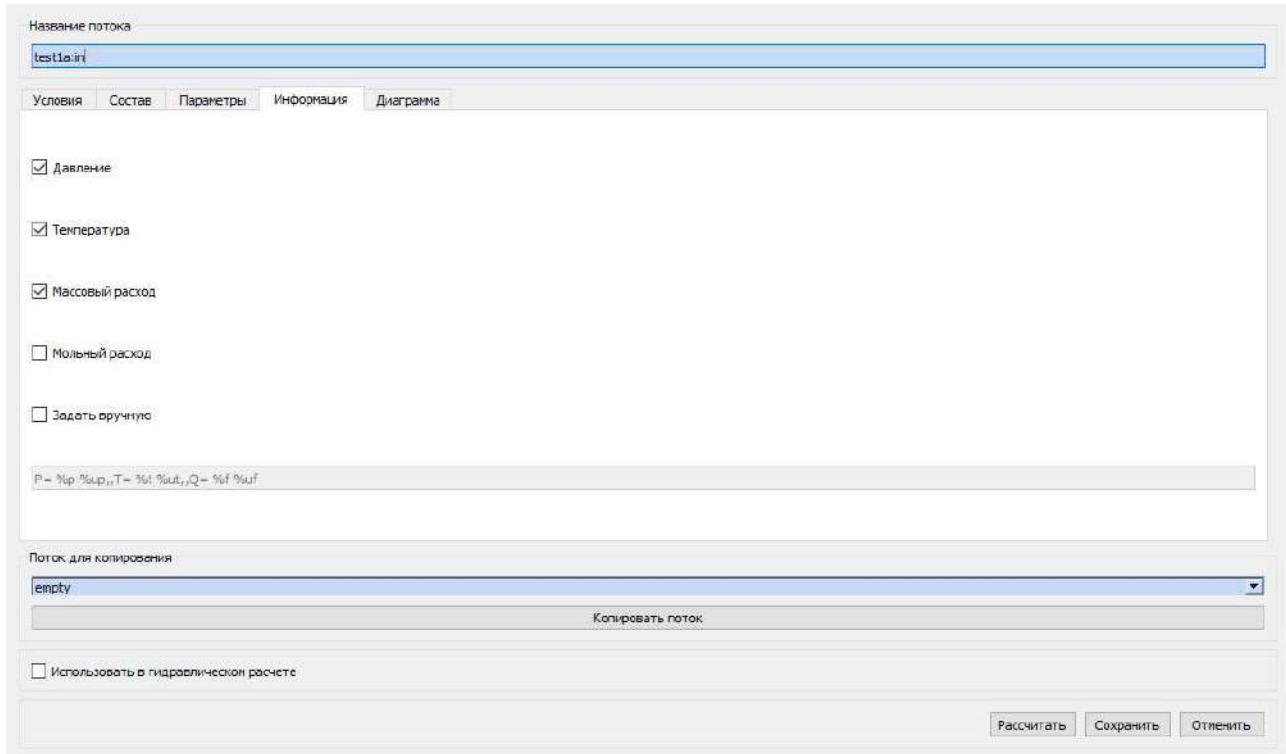
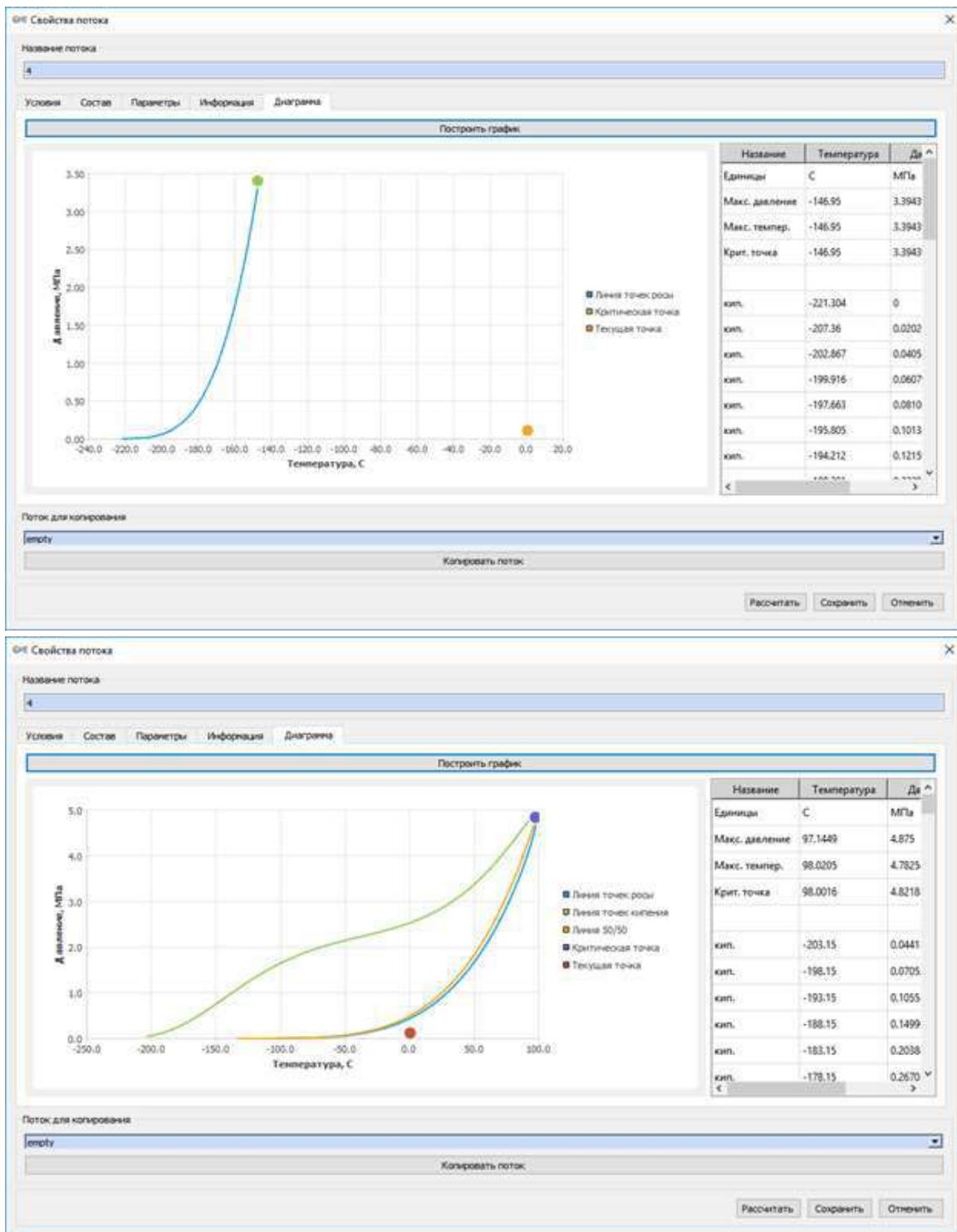


Рис.4.1.4 Управление справкой потока

4.2. Создание Т-Р диаграмм

В диалоге потока на вкладке «Диаграмма» выводится диаграмма Р-Т (давление температура). Построение графика инициируется соответствующей кнопкой, если же график уже построен, то график перестраивается после изменения данных потока и нажатии кнопки «Рассчитать». Для однокомпонентной смеси график Р-Т представляет одну кривую, разделяющую жидкую и газообразную зоны, и заканчивающуюся критической точкой для данной компоненты. Для многокомпонентной смеси, определяется многофазная область, ограниченная линиями точек росы и точек кипения (рис.4.2.5). Дополнительно строится кривая, соответствующая 50% жидкой и газовой фаз. Отдельным маркером показана текущая точка потока. Точки максимальной температуры, давления и

критическая точка приведены в таблице справа от графика. Эти данные и все рассчитанные точки кривых из таблицы доступны для копирования.



4.3. Создание сводных таблиц и экспорт в Excel



Инструмент : таблица потоков; панель инструментов : отображение результатов

Сводная таблица по всем потокам (рис.4.3.6 поз.5) доступна при вызове из панели инструментов. На вкладке выбор потоков задается фильтр по потокам. В таблице выводятся только те потоки, которые полностью определены либо пользователем, либо в результате расчета. Сохранение текущей таблицы в Excel производится нажатием соответствующей кнопки диалога.

Результаты потоков

Свойства потоков Выбор потоков

Параметр:	Единица измерения	1	2	3
Доля газа		1	1	1
Давление	атм	2	1	1.24382
Температура	С	0	0	-0.0813056
Массовый расход	кг/ч	100	100	200
Мольный расход	моль/ч	3569.77	3569.77	7139.54
Молярные доли		0	0	0
Азот		1	1	1
Массовые доли		0	0	0
Азот		1	1	1
Молярная энталпия	кДж/кмоль	7924.34	7933.59	7928.97
Молярная энтропия	кДж/(кмоль*С)	183.266	189.057	187.226
Массовая энталпия	кДж/кг	282.881	283.211	283.046
Массовая энтропия	кДж/(кг*С)	6.54219	6.7489	6.58359
Молярная Cp	кДж/(кмоль*С)	29.1858	29.1138	29.1313
Молярная Cv	кДж/(кмоль*С)	20.7608	20.744	20.7481
Массовая Cp	кДж/(кг*С)	1.04187	1.03929	1.03992
Массовая Cv	кДж/(кг*С)	0.741111	0.740515	0.740659

Результаты потоков

Свойства потоков Выбор потоков

Выбрать все потоки Очистить выделение

1
 2
 3

Экспорт в Excel Сохранить Отменить

Рис.4.3.6 Сводная таблица по потокам

5. Базовые элементы

5.1. Диалог задания потока



Инструмент : поток; панель инструментов : создание оборудования

Поток, вход которого подключен к оборудованию, получает всю информацию во время расчета этого оборудования. Диалог потока при этом служит для отображения данных этого потока. Исключение составляет ряд типов оборудования, требующих задания давления или температуры на выходе. Этот вопрос освещен в следующем параграфе "Частичное задание потока".

Если вход потока свободен, то пользователь должен полностью определить все параметры потока в диалоге. Все параметры вносятся вручную, согласно одному из шести вариантов. В любом варианте задаются давление и температура. При активации варианта те ячейки, которые задает пользователь, подсвечиваются синим.

Мольные доли - массовый поток

Для этого варианта следует на вкладке состав выбрать "Мольные доли" и задать эти доли. Нормировка к единичной сумме будет сделана автоматически. После этого на вкладке "Условия" в области "базис при задании долей" выбирается массовый поток, а в таблице – его значение.

Мольные доли – мольный поток

Аналогично предыдущему варианту, но на вкладке "Условия" следует выбрать и задать мольный поток.

Массовые доли – массовый поток

Массовые доли – мольный поток

Задаются аналогичным образом, но на вкладке "Состав" следует выбрать массовые доли

Мольный поток

На вкладке "Состав" следует выбрать мольный поток, указать единицы измерения и задать мольные потоки для каждого компонента.

Массовый поток

Аналогично предыдущему пункту, выбирается опция массовый поток, указываются единицы измерения и задаются массовые расходы для каждого компонента.

Переключение опций в области базис отображает состав потока в других вариантах.

В диалоге потока имеется возможность копирования данных из другого определенного потока (заданного или рассчитанного), для чего следует выбрать

имя этого потока в выпадающем списке и нажать кнопку "Копировать поток".

При нажатии кнопки "Рассчитать" и корректности всех входных данных происходит расчет потока по текущим данным, сохранение данных потока в базу данных и запускается пересчет модели. Кнопка "Сохранить" выполняет те же действия, но после закрывает диалог. Кнопка "Отменить" закрывает диалог с потерей всех последних изменений. Некорректные данные подсвечиваются красным. Диалог не закрывается при нажатии "Сохранить", если имеются некорректные данные. Нажатие пробела вне режима редактирования ячейки таблицы эквивалентно нажатию кнопки "Рассчитать".

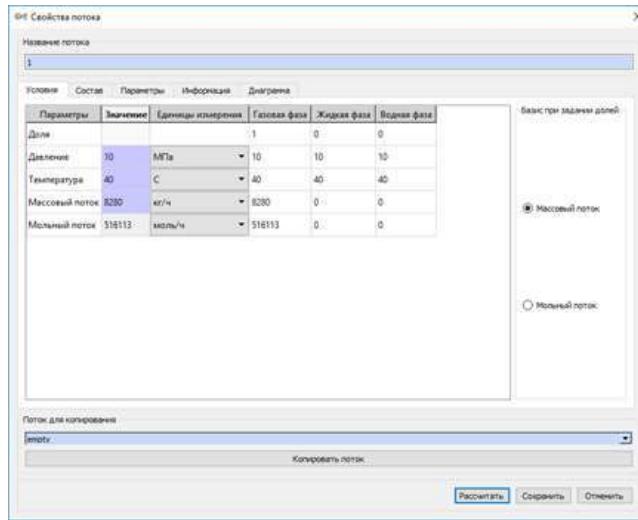


Рис.5.1.1 Диалог задания потока, вкладка "Условия"

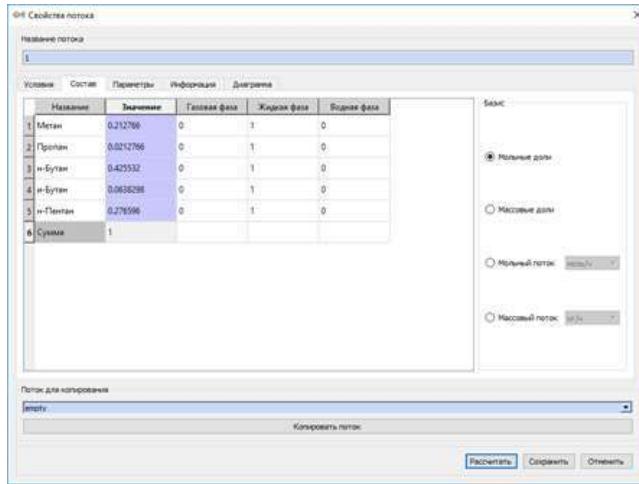


Рис.5.1.2 Диалог задания потока, вкладка "Состав"

На вкладке параметры отображаются в виде таблицы расчетные характеристики смеси, внешний вид которой приведен в разделе "Отображение результатов". Там же дано подробное описание вкладки "Информация", на которой настраивается вид надписей для каждого потока.

Частичное задание потока

Для ряда типов оборудования необходимо задать либо давление, либо температуру выходного потока. Для давления, это – компрессор, детандер и насос, для температуры – холодильник, нагреватель, теплообменник и аппарат воздушного охлаждения. Как только поток подключен к выходу оборудования данного типа и режим функционирования оборудования требует задания параметра выходного потока, в диалоге потока данный параметр будет доступен для изменения и подсвечен фиолетовым фоном.

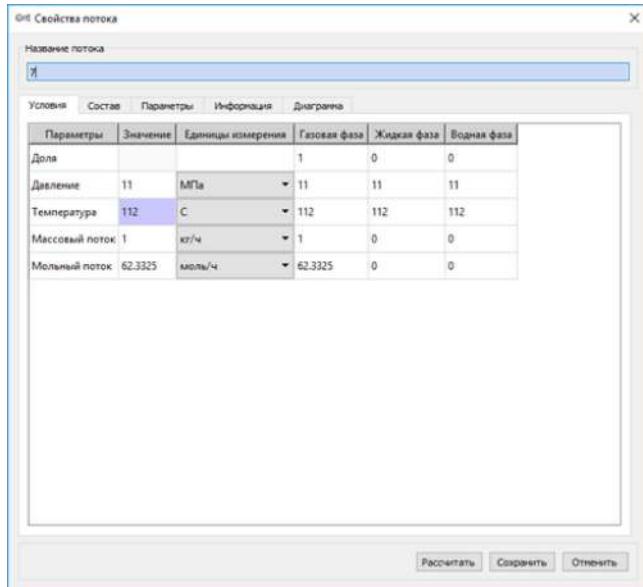


Рис.5.1.3 Частичное задание потока

После нажатия сохранить или рассчитать, данный поток инициирует расчет с учетом обновленного значения параметра.

5.2. Задание потока энергии



Инструмент : энергия; панель инструментов : создание оборудования

Поток энергии имеет один параметр – мощность. Если значение подводимой или отводимой энергии оборудования определяется через параметры выходного потока (например, через давление на выходе из компрессора или через температуру на выходе из нагревателя), то в диалоге соответствующего энергетического потока поле мощности недоступно для изменения. В этом случае на расчетной схеме потока энергии отображается круг (рис.5.2.5, а).

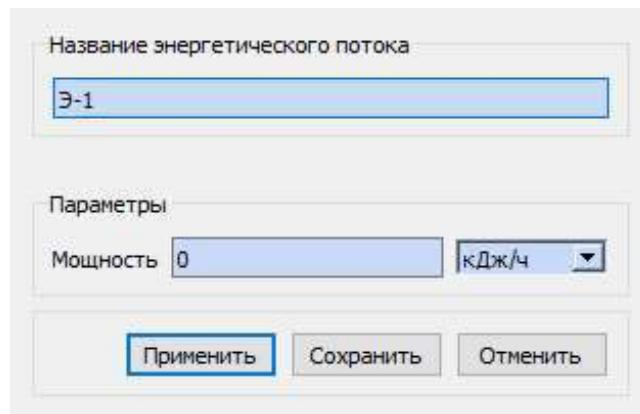
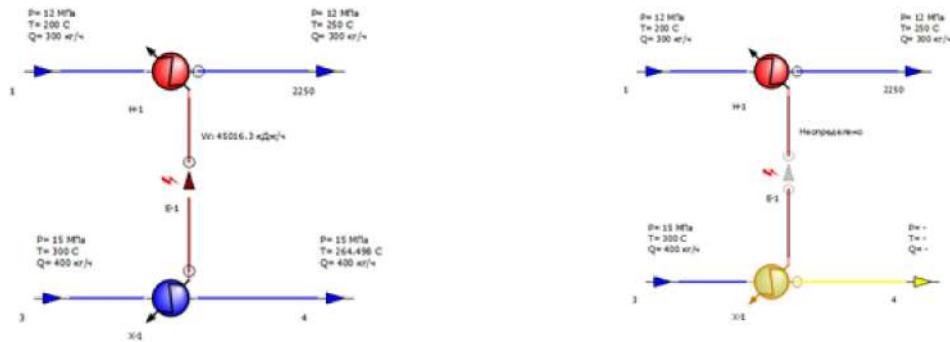


Рис.5.2.4 Диалог задания потока энергии

Ситуация переопределения потока энергии возникает при подключении с двух сторон оборудования, задающих поток энергии (рис.5.2.5, б). В этом случае генерируется ошибка на самом потоке энергии и на одном из оборудований.



а) корректная схема

б) переопределение

Рис.5.2.5 Пример схемы с переопределением энергетического потока

5.3. Аппарат воздушного охлаждения



Инструмент : аво; панель инструментов : создание оборудования

Аппарат воздушного охлаждения (AVO) имеет один входной и один выходной потоки, а также следующие параметры, которые задаются в диалоге:

- падение давления
- температура и давление окружающего воздуха
- проектная и требуемая скорость вентилятора
- проектный расход воздуха

Необходимо также задать температуру в выходном потоке. В диалоге оборудования отображаются результаты расчета – текущий расход воздуха и температура воздуха на выходе из аппарата. Если для входных данных не удается найти решение (например, температура флюида на входе в аппарат ниже, чем температура воздуха), то оборудование переводится в состояние ошибки с выводом соответствующего сообщения.

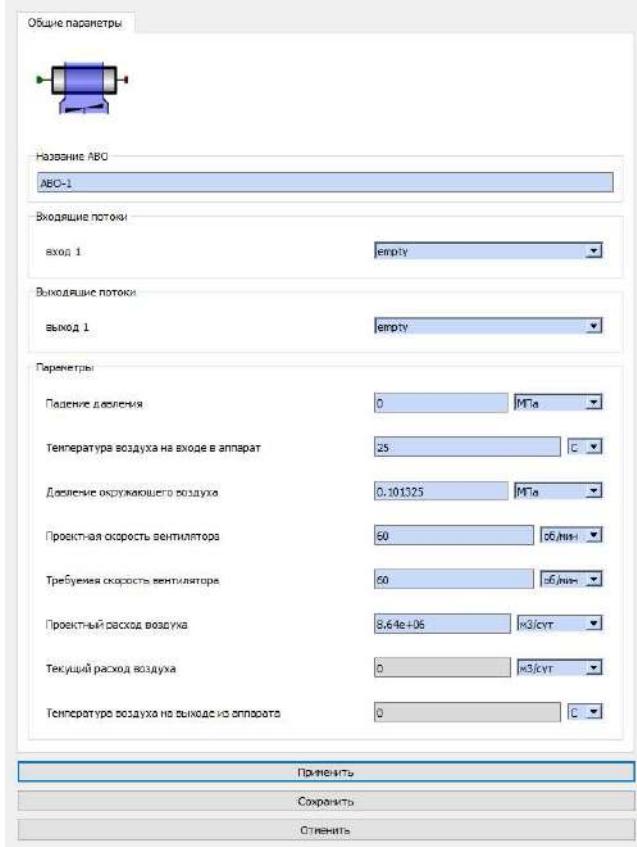


Рис.5.3.6 Диалог задания АВО

5.4. Компрессор



Инструмент : компрессор; панель инструментов : создание оборудования

Компрессор служит для повышения давления газовой смеси и имеет один входящий и один выходящий потоки, а также подвод энергии. Параметр адиабатическая эффективность задается в диалоге и имеет значение по умолчанию, равное 80%. Компрессор имеет два варианта задания входных данных – через поток энергии или через давление на выходе. Вариант

выбирается в диалоге и отображается кругом на выходном потоке или на входном энергетическом потоке.

Наличие жидкой или вводной фазы во входном потоке недопустимо, в этом случае компрессор переводится в состояние ошибки с соответствующим предупреждением. При задании давления на выходе, оно должно превышать давление на входе.

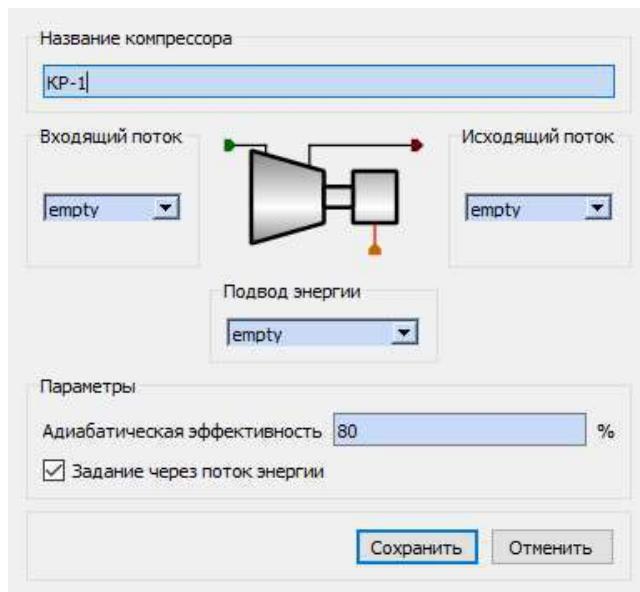


Рис.5.4.7 Задание компрессора

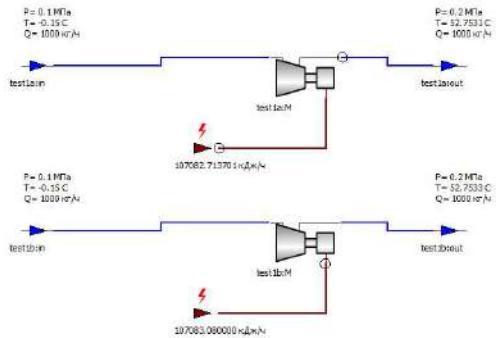


Рис.5.4.8 Задание через давление на выходе (сверху), задание через поток энергии (снизу)

5.5. Холодильник



Инструмент : холодильник; панель инструментов : создание оборудования

Холодильник имеет один входной, один выходной потоки, и один отводящий поток энергии. Единственным параметром является падение давления, по умолчанию нулевое. В диалоге выбирается один из режимов – задание через температуру выходного потока или задание через энергию. В первом случае температура задается в выходном потоке, а энергия рассчитывается, во втором – задается энергия в энергетическом потоке, а температура выходного потока определяется из расчета. Режим отображается кругом на выходном потоке или на отводе энергии.

Если температура на выходе задана выше входной, то холодильник переводится в состояние ошибки.

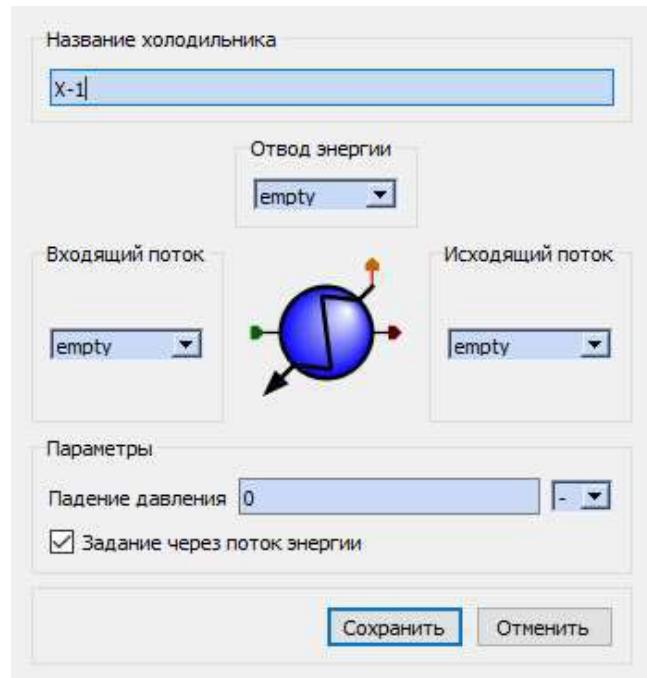


Рис.5.5.9 Диалог для задания холодильника

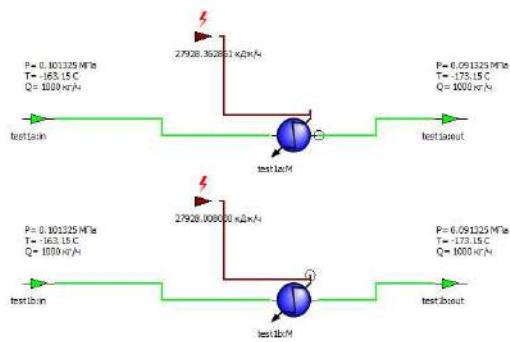


Рис.5.5.10 Режимы задания холодильника: сверху – через температуру на выходе, снизу – через поток энергии

5.6. Нагреватель



Инструмент : нагреватель; панель инструментов : создание оборудования

Нагреватель имеет один входной, один выходной потоки, и один подводящий поток энергии. Падение давления, по умолчанию нулевое, задается в диалоге оборудования. Там же выбирается один из режимов задания – через температуру выходного потока или через энергию. В первом случае температура задается в выходном потоке, а энергия рассчитывается, во втором – задается энергия в энергетическом потоке, а температура выходного потока определяется из расчета. Режим отображается кругом на выходном потоке или на подводе энергии.

Если температура на выходе задана ниже входной, то нагреватель переводится в состояние ошибки и выводится предупреждение.

Не допускается задание отрицательного падения давления (актуально для всех элементов с данным параметром).

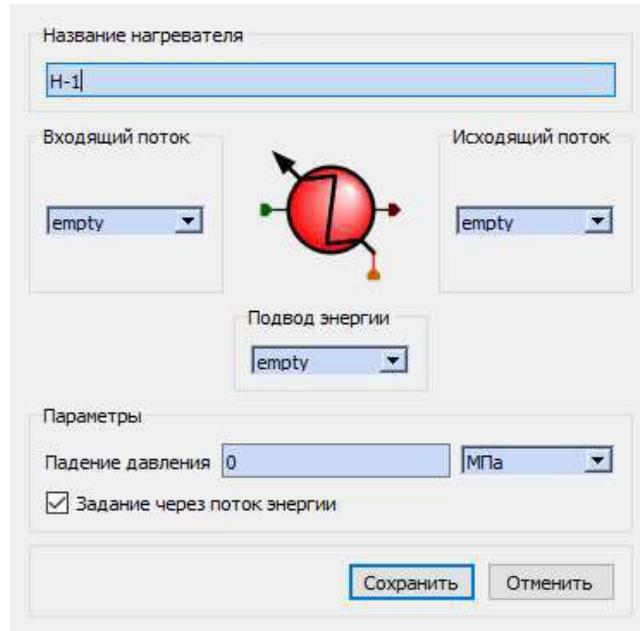


Рис.5.6.11 Диалог задания нагревателя

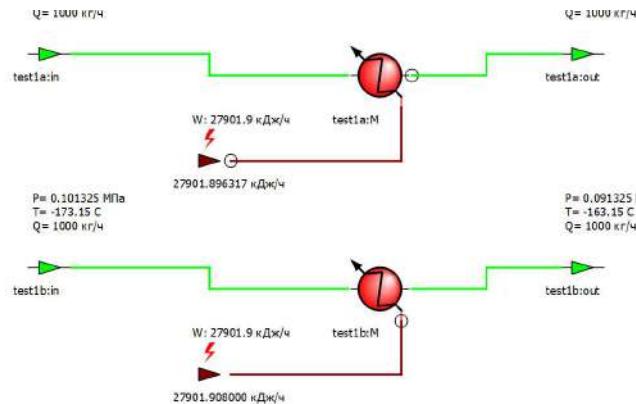


Рис.5.6.12 Режимы задания нагревателя: сверху – через температуру на выходе, снизу – через поток энергии

5.7. Детандер



Инструмент : детандер; панель инструментов : создание оборудования

Детандер служит для понижения давления газовой смеси и имеет один входящий и один выходящий потоки, а также отвод энергии. Адиабатическая эффективность задается в диалоге и имеет значение по умолчанию, равное 80%. Детандер имеет два варианта задания входных данных – через поток энергии или через давление на выходе. Вариант выбирается в диалоге и отображается кругом на выходном потоке или на выходном энергетическом потоке.

Детандер переводится в состояние ошибки в двух случаях – при наличии жидкой или водной фазы во входном потоке или при задании выходного давления выше текущего входного давления.

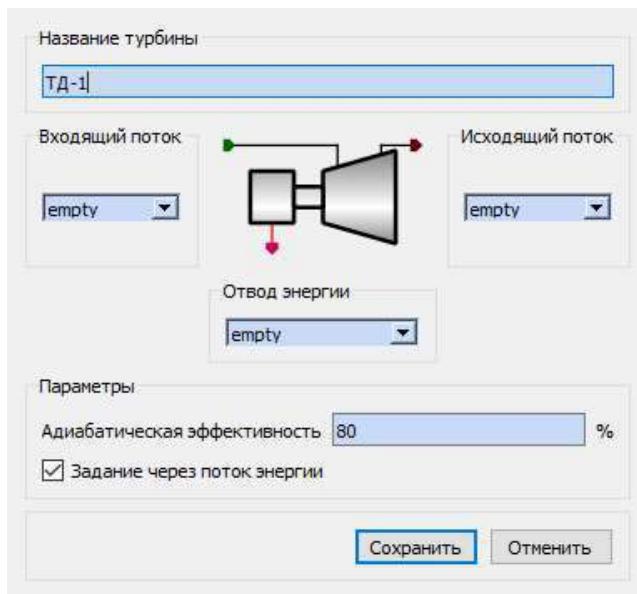


Рис.5.7.13 Задание детандера

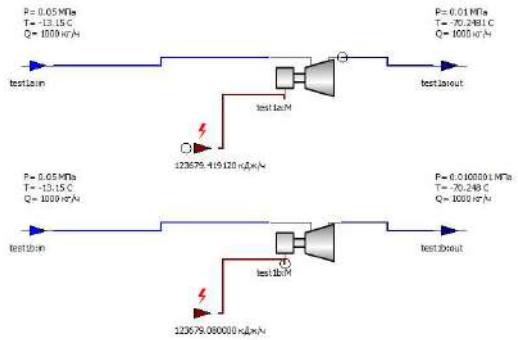


Рис. 5.7.14 Режимы задания детандера: сверху – через давление на выходе, снизу – через поток энергии

5.8. Теплообменник



Инструмент : теплообменник; панель инструментов : создание оборудования

Теплообменник осуществляет охлаждение или нагрев одного потока за счет второго потока с более низкой или более высокой температурой. Он имеет по одному входному и одному выходному потока для труб и межтрубного пространства. В диалоге оборудования имеется возможность задать падение давления для труб и межтрубного пространства. Теплообменник имеет два варианта функционирования – когда известна температура на выходе из труб и когда известна температура на выходе из межтрубного пространства. Выбор режима задается в диалоге оборудования, а сама температура – в соответствующем потоке. Если теплообмен для входных данных невозможен, то оборудование переводится в состояние ошибки.

Применение параметра на второй вкладке диалога объяснено в разделе [3.9](#)

В разделе "Результаты" приведены рассчитанные значения подведенной или отведенной теплоты в единицу времени для каждого потока и величина среднего логарифмического температурного напора.

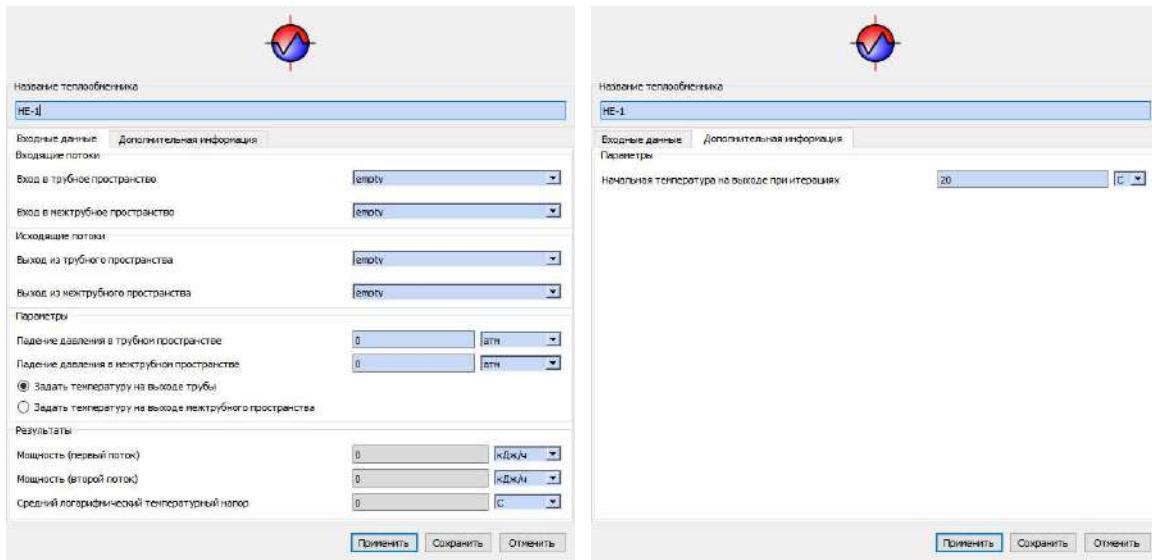


Рис.5.8.15 Диалог теплообменника



а) известна температура на выходе из труб

б) известна температура на выходе из межтрубного пространства

Рис.5.8.16 Режимы задания теплообменника

5.9. Эжектор



Инструмент : эжектор; панель инструментов : создание сложного оборудования

Эжектор имеет один высоконапорный входной поток, один низконапорный входной поток и один выходной поток. По умолчанию выбирается лучший из трех типов эжектора – дозвукового, звукового и сверхзвукового. Данный тип определяется скоростью течения высоконапорного газа на входе в камеру смешения. Под лучшим понимается дающий максимальное давление на выходе.

Эжектор генерирует ошибку при наличии жидкости в высоконапорном потоке, и при выходе входных параметров за рабочий диапазон.

Помимо автоматического режима, на второй вкладке диалога эжектора доступны другие опции расчета, а также результаты расчета оптимального эжектора. При выборе дозвукового и сверхзвукового типа эжектора происходит оптимизация по параметру приведенной скорости для высоконапорного газа на входе в камеру смешения, с критерием максимального давления на выходе. При этом используется нелинейная зависимость коэффициента восстановления давления в диффузоре. Оптимальный параметр выводится в окне «приведенная скорость ВД».

Для отключения оптимизации и задания параметра вручную следует выбрать расчет с фиксированной приведенной скоростью. Если параметр равен 1, то будет выполнен расчет для звукового эжектора (с сужающимися соплами), менее 1 – дозвуковой эжектор, более 1 – сверхзвуковой. Для инициации расчета следует нажать кнопку «Применить». Автоматический расчет диффузора допускается отключить (убрав соответствующую галку), при этом следует задать коэффициент восстановления полного давления вручную. Имеется возможность задания падения давления от трения в камере смешения – значение приводится в процентах и по умолчанию равно 0.

Значение температуры на выходе, приведенное в диалоге, является

оценочным, так как формулы эжекции справедливы для идеального газа. Температура выходного потока эжектора определяется при пересчете смешанного потока при известном давлении из условия сохранения энталпии. Геометрические параметры эжектора подбираются либо из условия оптимальности, либо из условия заданной приведенной скорости ВД, то есть конфигурация эжектора адаптируется к изменениям входных данных.

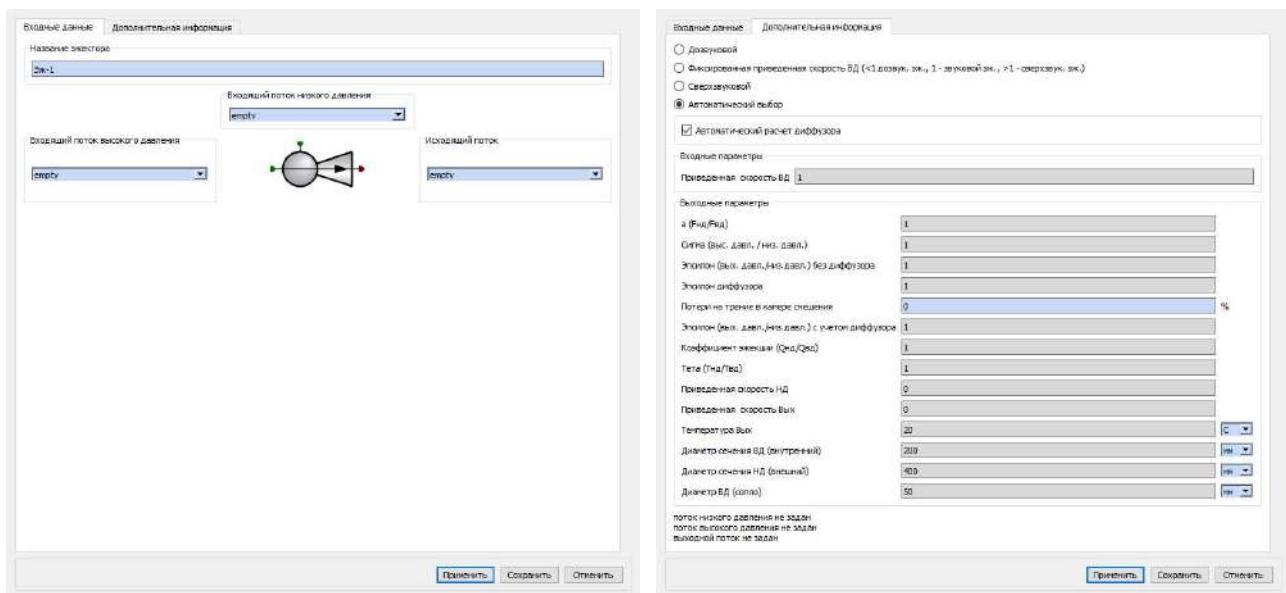


Рис.5.9.17 Диалог задания эжектора

5.10. Трубопровод



Инструмент : трубопровод; панель инструментов : создание оборудования

Элемент типа «трубопровод» имеет один входной и один выходной поток, а также два параметра – длина и внутренний диаметр. По этим геометрическим размерам, а также по параметрам входного потока рассчитывается падение давления и пересчитывается температура из условия сохранения энталпии.

Если рассчитанное падение давления превышает давление на входе, то элемент переводится в состояние ошибки.

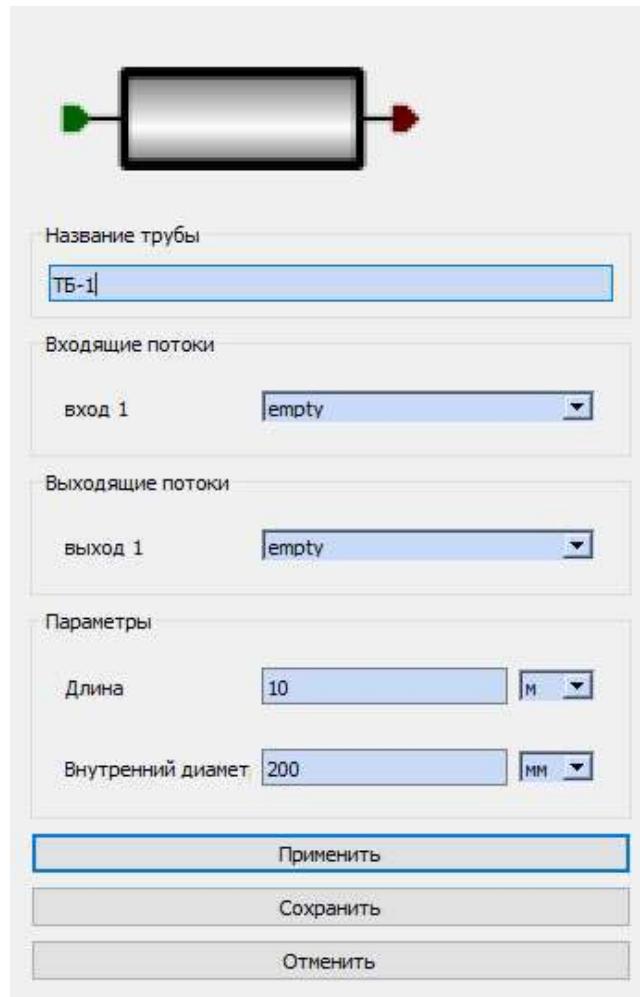


Рис.5.10.18 Диалог задания трубопровода

5.11. Насос



Инструмент : насос; панель инструментов : создание оборудования

Насос повышает давление входного потока, полностью состоящего из жидкой и водной фаз. Данный тип оборудования имеет один входной и один выходной потоки, а также подвод энергии. Адиабатическая эффективность (значение по умолчанию 0.8) задается в диалоге. Там же выбирается, задается ли выходное давление с последующим расчетом энергии, или же задается энергия с расчетом выходного давления. В зависимости от выбранного варианта, на выходном потоке или на подводе энергии рисуется круг.

Насос переводится в состояние ошибки в одном из двух случаев – при наличии газовой фазы во входном потоке или при задании выходного давления ниже входного.

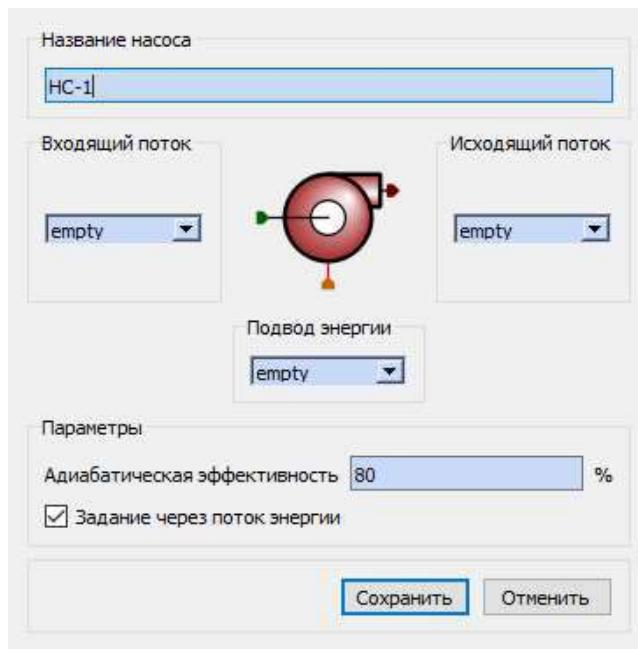


Рис.5.11.19 Задание насоса

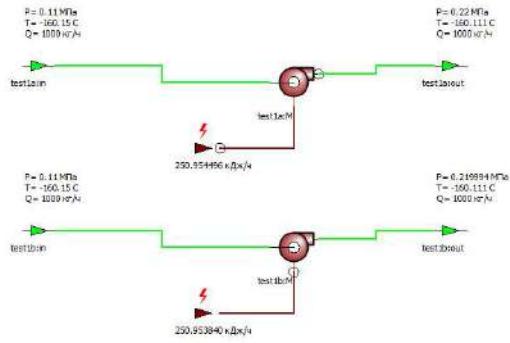


Рис.5.11.20 Задание через давление на выходе (сверху), задание через поток энергии (снизу)

5.12. Клапан



Инструмент : дроссель; панель инструментов : создание оборудования

Клапан имеет один входящий и один выходящий поток. В клапане происходит падение давления, которое либо фиксировано, либо определяется по заданному выходному давлению. Температура на выходе рассчитывается при условии сохранении энталпии. При выставлении флага "перекрыто" выходной поток обнуляется. Клапан генерирует ошибку, если заданное выходное давление выше входного, или заданное падение давления больше входного давления.

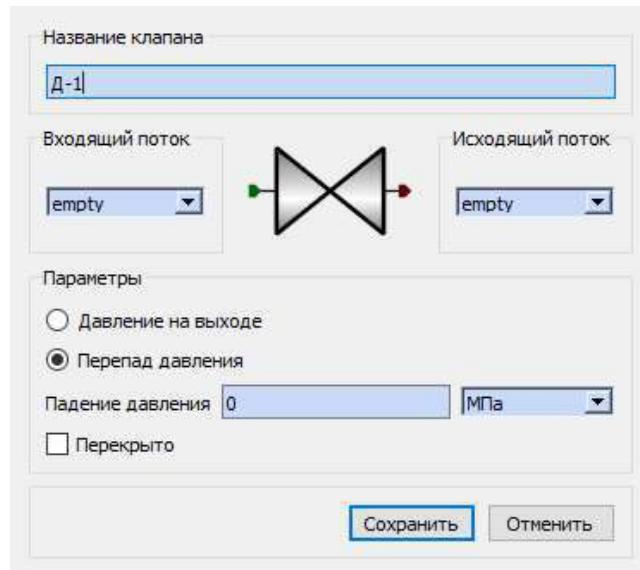


Рис.5.12.21 Задание клапана

5.13. Разделитель



Инструмент : разделитель; панель инструментов : создание оборудования

Разделитель производит разбиение потока на несколько потоков с повторением состава, температуры и давления. Расходы выходных потоков определяются в соответствии с коэффициентами разделения, задаваемыми в диалоге. Количество выходных потоков ограничено пятью. Необходимо задать как минимум один поток с положительным коэффициентом разделения, иначе разделитель будет переведен в состояние ошибки. Все положительные коэффициенты автоматически нормируются так, чтобы их сумма была равна единице. Отрицательный коэффициент разделения для некоторого потока исключает его из расчета. Задавать выходные потоки можно в любом порядке.

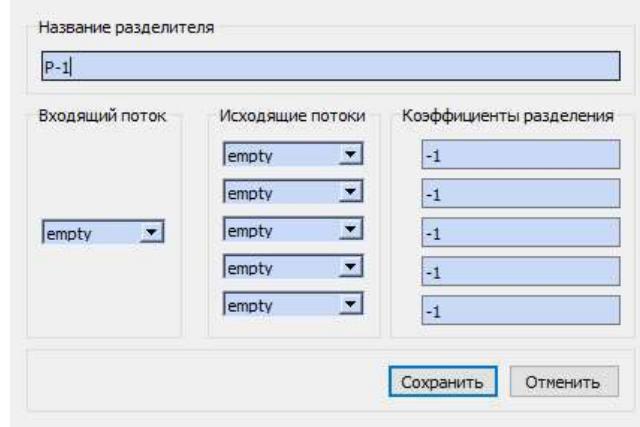


Рис.5.13.22 Диалог задания разделителя

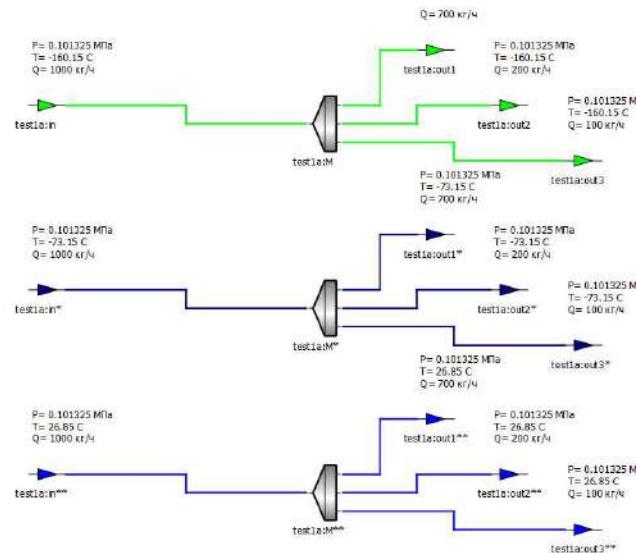


Рис.5.13.23 Схема с разделителем

5.14. Смеситель



Инструмент : смеситель; панель инструментов : создание оборудования

Смеситель позволяет смешивать до пяти входящих потоков. Порядок задания

этих потоков неважен. Если расход входящего потока равен нулю, то этот поток игнорируется. Давление на выходе определяется через минимальное давление входящих потоков. Если все входящие потоки имеют нулевой расход, то давление на выходе берется по первому активному потоку в списке. Выходной расход определяется как сумма входных расходов, а температура на выходе – из условия суммы энталпий входных потоков при пересчете на выходное давление.

В схемах с замкнутыми контурами возможно проявление эффекта памяти. Например, производится расчет схемы при давлении 1атм, потом давление повышается до 2атм, но при смешивании в смесителе магистрального потока с новым значением 2атм и байпас-потока со старым значением 1атм, давление после смешивания будет 1атм, и оно сохранится в контуре. Во избежание подобных ситуаций байпас-поток следует пометить в диалоге смесителя как возвратный. В таком случае выходное давление будет рассчитано без учета давления байпас-потоков. Для корректной работы такой схемы требуется либо отсутствие в контуре потерь давления, либо наличие в контуре насоса или компрессора, делающих давление байпас-потока выше магистрального. Поэтому, если давление одного из потоков с флагом возвратный ниже магистрального, элемент смесителя переводится в состояние ошибки с соответствующим предупреждением.

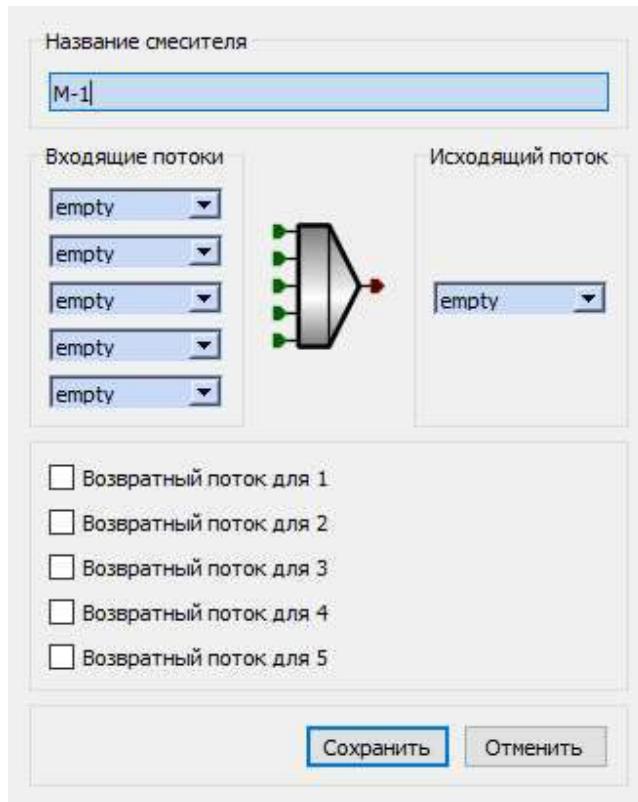


Рис.5.14.24 Диалог задания смесителя

5.15. Сепаратор



Инструмент : сепаратор; панель инструментов : создание сложного оборудования

Сепаратор разделяет газовую и жидкую или водную фазы. Допускается до пяти входных потоков, которые смешиваются в соответствии с математической моделью смесителя. Входные потоки задаются в любом порядке. Имеется два выходных потока – для газовой фазы и для жидкой и водной фаз. Помимо

этого, для сепаратора допускается задавать падение давления и подвод энергии, которые применяются к потоку перед сепарацией.

При включенном флаге коррекции объема газа имитируется ситуация проведения ГКИС, при которой жидкость накапливается внутри сепаратора. Соответственно, выходной расход газа увеличивается за счет газа, вытесняемого из сепаратора.

Унос жидкости задается на отдельной вкладке диалога (рис.5.15.25). Водная и жидкая фаза подмешивается к выходному газовому потоку в пропорциях, в которых они присутствуют в потоке, получаемом после смешивания всех входящих потоков. Унос определяется как сумма абсолютного и относительного уносов. Абсолютный унос задается в поле "Абсолютный унос жидкости". Относительный унос определяется умножением коэффициента уноса на текущий объемный расход газа, приведенного к стандартным условиям. Коэффициент уноса задается в виде функции от расхода газа, которая определяется как произведение значения поля "Унос жидкости" на значение кусочно-линейной функции из таблицы. При пустой таблице коэффициент уноса постоянен, а относительный унос линейно зависит от расхода.

Значения объемного расхода в таблице являются безразмерными величинами, они умножаются на значение поля "Единицы измерения расхода" для получения размерной величины расхода. Так же безразмерными являются и значения в столбце "Унос жидкости". Пользователь может выставить единицу в поле "Унос жидкости" и заполнить таблицу реальными значениями в этих единицах, или же выставить некий унос в поле "Унос жидкости", а таблицу заполнить долями от этого уноса. Для удобства проверки рекомендуется задавать данные в том виде, в котором они приведены в источнике.

Для задания ступенчатой функции уноса в таблице указывается две строки, с

одинаковым полем "Объем газа" и разными значениями уноса. Первое значение уноса будет применяться при меньшем объемном расходе, второе – при большем. На рис.5.15.26 показан график функции уноса при значениях в таблице (0.5 0.1) (0.5 0.2) (0.7 0.2) (0.7 0.5). Применяется экстраполяция с постоянным значением для интервалов до первой табличной точки и после последней.

В диалоге под таблицей выводятся текущие значения абсолютного и относительного уноса, а так же объемный расход газа без уноса при стандартных условиях. Эти значения получаются после расчета и относятся к суммарному уносу.

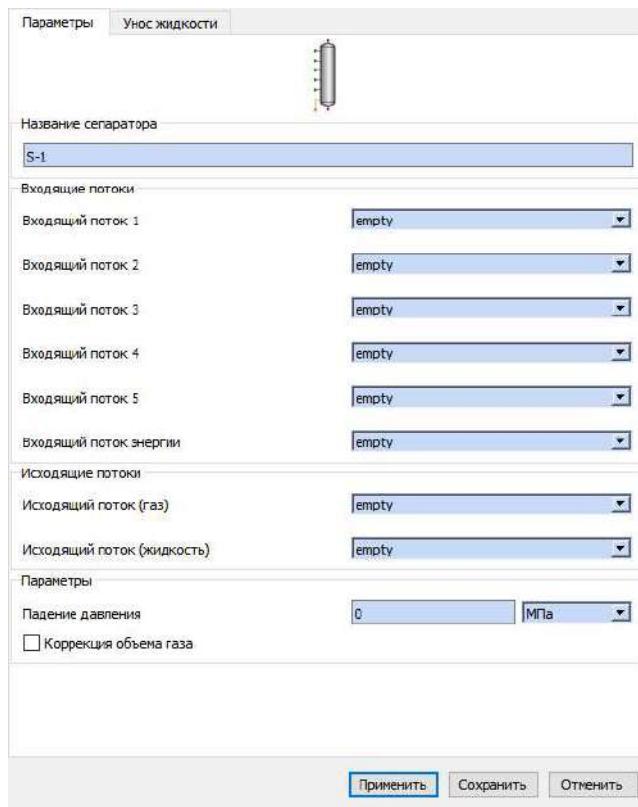


Рис.5.15.27 Сепаратор

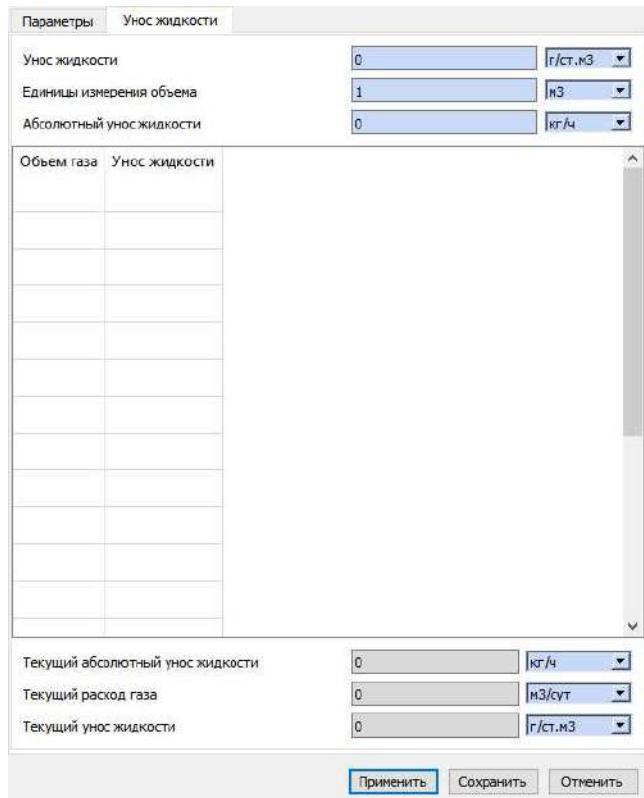


Рис.5.15.28 Сепаратор, задание уноса

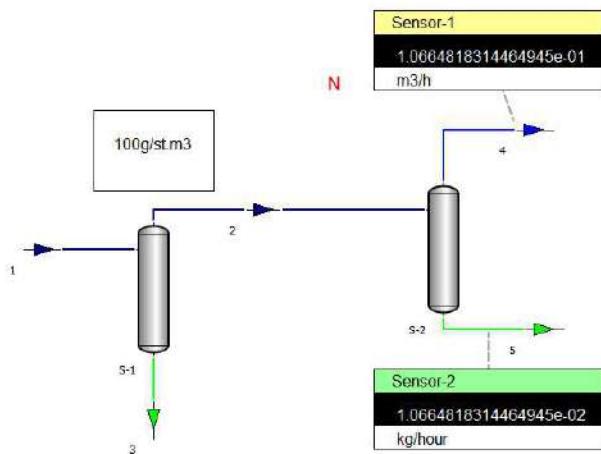


Рис.5.15.29 Проверка сепаратора с уносом

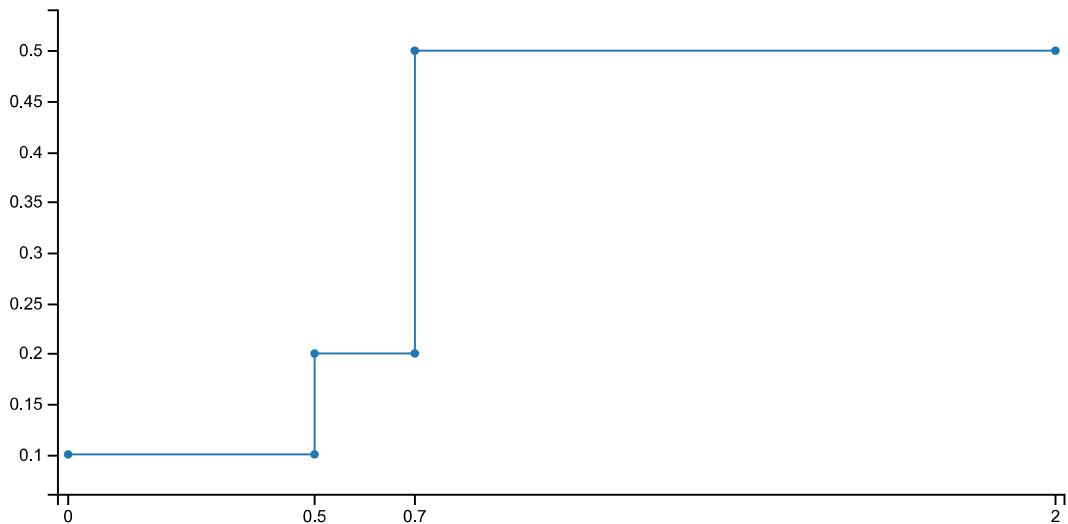


Рис.5.15.30 Ступенчатая функция для уноса

5.16.: Внутритрубный сепаратор



Инструмент : внутритрубный сепаратор; панель инструментов : создание сложного оборудования

Внутритрубный сепаратор имеет ту же математическую модель, что и обычный сепаратор. Отличия заключаются во внешнем виде и единственным входным потоком.

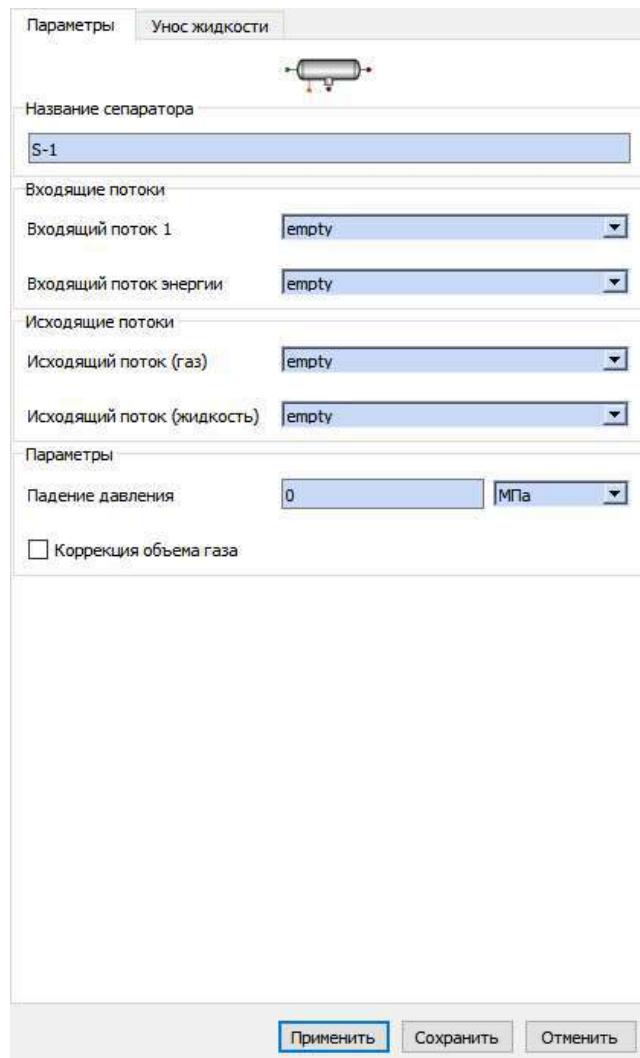


Рис.5.16.31 Внутритрубный сепаратор

5.17. Сепаратор трехфазный



Инструмент : трехфазный сепаратор; панель инструментов : создание сложного оборудования

Сепаратор разделяет газовую, жидкую и водную фазы. Заданное падение давления в сепараторе применяется к потоку до сепарации.

При включенном флаге коррекции объема газа имитируется ситуация проведения ГКИС, при которой жидкость и вода накапливаются внутри сепаратора. Выходной расход газа, соответственно, увеличивается за счет вытесняемого из сепаратора газа.

Унос жидкости и воды с газом задается отдельно для водной и жидкой фаз (рис.5.17.32). Для каждой фазы унос определяется как сумма абсолютного и относительного уносов. Относительный унос пропорционален объемному расходу газа в стандартных условиях, коэффициент пропорциональности задается в виде константы, умноженный на табличную функцию. Более подробное описание расчета уноса приведено на странице обычного сепаратора.

Полученные в результате расчета оборудования уносы приводятся в полях текущих уносов. Для каждой фазы определяются абсолютное значение суммарного уноса и его отношение к объемному расходу газа в стандартных условиях.

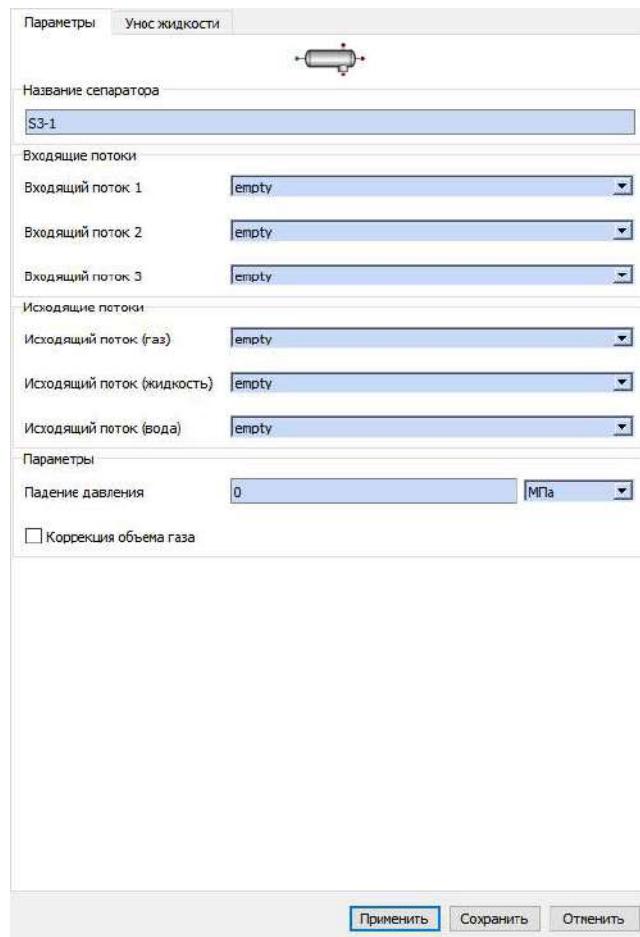


Рис.5.17.33 Сепаратор трехфазный

Рис.5.17.34 Сепаратор трехфазный, задание уноса

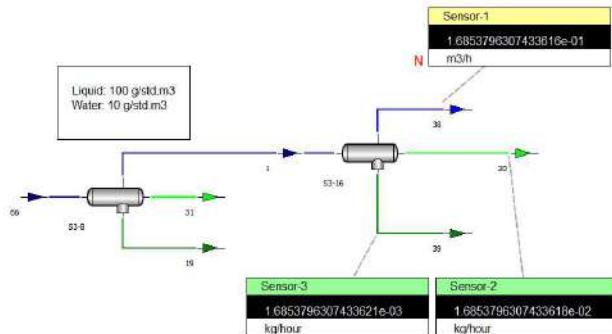


Рис.5.17.35 Сепаратор трехфазный, проверка уноса

5.18. Сепаратор специальный



Инструмент : сепаратор специальный; панель инструментов : создание сложного оборудования

Внутритрубный сепаратор на сверхзвуковом режиме позволяет добиться более глубокой степени извлечения целевого компонента, в данном случае газа, по отношению к дозвуковому внутритрубному сепаратору.

На первом этапе происходит сброс давления отдельно для газовой и жидкой фаз до минимального давления в системе, которое является входным параметром сепаратора.

После этого потоки объединяются и производится сепарирование. Газовая фаза разделяется на два потока, коэффициент разделения является еще одним параметром сепаратора. Один поток поступает на газовый выход, второй - смешивается с жидкой фазой. Давления в потоках приводятся к заданному выходному давлению, при этом от них отводится энергия из условия соблюдения баланса энталпии входного и выходных потоков.

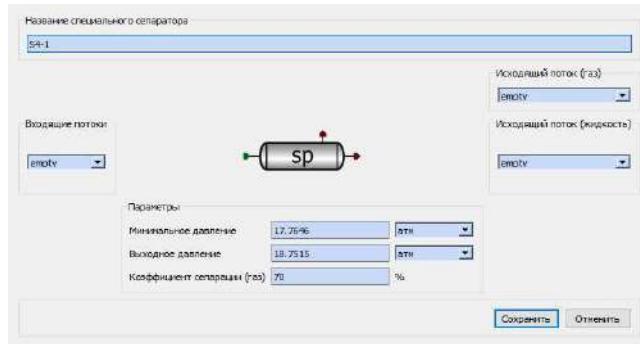


Рис.5.18.36 Сепаратор специальный

5.19. Сепаратор с неполной сепарацией газа



Инструмент : сепаратор с неполной сепарацией газа; панель инструментов : создание сложного оборудования

Сепаратор с неполной сепарацией газа действует аналогично обычному сепаратору, но какая-то часть газовой фракции смешивается с жидкостью и поступает на соответствующий выход. Неполная сепарация характеризуется долей массового расхода газа, поступающего на выход жидкости, относительно массового расхода газа во входящем потоке. Для сепаратора допускается задавать падение давления, применяемое к обоим выходам. Подвод энергии в текущей версии не используется.



Рис.5.19.37 Сепаратор с неполной сепарацией газа

5.20. Фильтр



Инструмент : фильтр; панель инструментов : создание сложного оборудования

Элемент типа фильтр производит избирательную сепарацию выбранных компонентов, служит для моделирования аппаратов для удаления сернистых

соединений. В качестве входных данных указывается массовая доля компонентов, остающаяся в основном выходном потоке, от их изначального количества. Массовые потоки остальных компонент остаются без изменений. Массовая фракция компонента k в выходном потоке определяется через массовые фракции входного потока и коэффициенты сепарации ε

$$x_k^{out} = \frac{\varepsilon_k x_k}{\sum_i \varepsilon_i x_i}$$

На элементе дополнительно задаются падение давление и подвод энергии, которые приводят к пересчету температуры.

Название фильтра
C-1

Входящие потоки
empty

Исходящий поток (газ)
empty

Исходящий поток (жидкость)
empty

Параметры

Падение давления	0	атм
Коэффициент остатка 1	0	%
Коэффициент остатка 2	0	%
Коэффициент остатка 3	0	%
Коэффициент остатка 4	0	%
Коэффициент остатка 5	0	%
Коэффициент остатка 6	0	%
Коэффициент остатка 7	0	%
Коэффициент остатка 8	0	%
Коэффициент остатка 9	0	%
Коэффициент остатка 10	0	%
Компонент 1	undefined	
Компонент 2	undefined	
Компонент 3	undefined	
Компонент 4	undefined	
Компонент 5	undefined	
Компонент 6	undefined	
Компонент 7	undefined	
Компонент 8	undefined	
Компонент 9	undefined	
Компонент 10	undefined	

Сохранить Отменить

Рис.5.20.38 Диалог задания фильтра

5.21. Разделитель с фиксированным выходом



Инструмент : разделитель с фиксированным выходом; панель инструментов : создание оборудования

Разделитель с фиксированным выходом имеет два выхода, на первый подается фиксированный расход, остальной поток подается на второй выход. Фиксированный массовый расход задается в диалоге (рис.5.21.39), там же показывается текущий коэффициент разделения. На схеме фиксированный выход выделяется утолщенной линией (рис.5.21.40). В случае, если расход входного потока меньше фиксированного расхода, то элемент генерирует прежупреждение, а на фиксированный выход подается входной поток полностью.

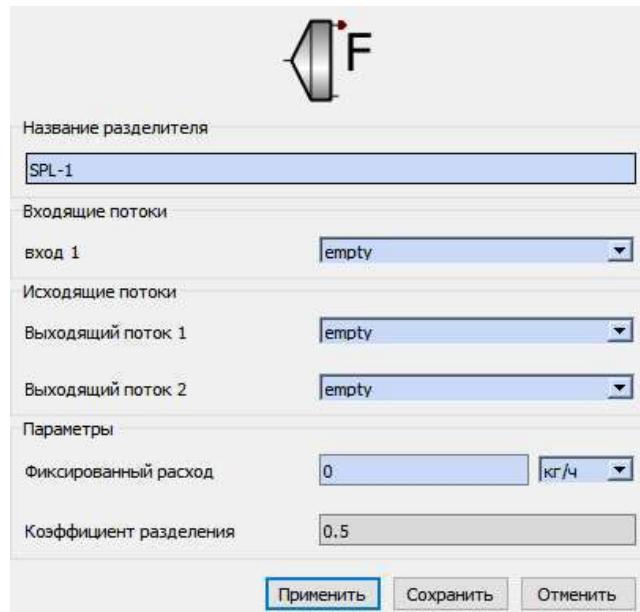


Рис.5.21.39 Диалог задания разделителя с фиксированным расходом

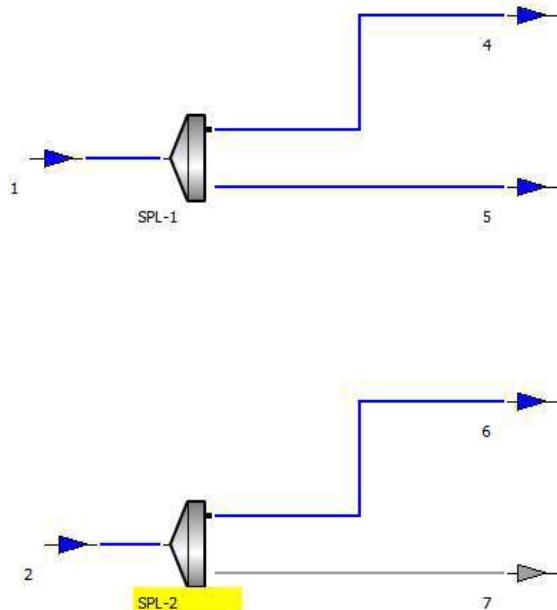


Рис.5.21.40 Элементы типа фиксированный расход

5.22. Разделитель точечный



Инструмент : разделитель (точечный); панель инструментов : создание оборудования

Разделитель точечный полностью соответствует разделителю, но отображается в виде перекрестия линий для создания упрощенного вида расчетных схем (рис.5.22.41). У данного типа разделителя доступно три выхода. Данный элемент с одним задействованным выходом позволяет строить более маршруты линий между оборудованием.

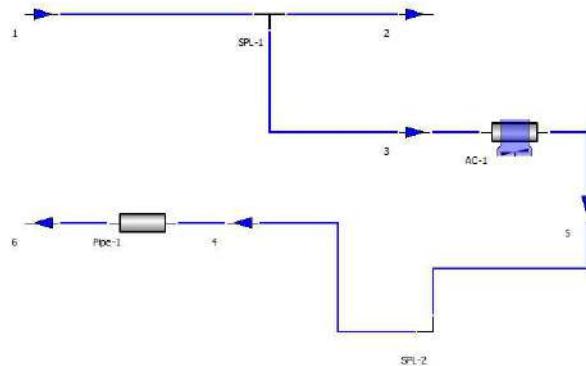


Рис.5.22.41 Схема с разделителем точечным

5.23. Смеситель точечный



Инструмент : смеситель (точечный); панель инструментов : создание оборудования

Смеситель точечный полностью соответствует смесителю, но отображается в виде перекрестья линий для создания упрощенного вида расчетных схем (рис.5.23.42). У данного типа смесителя доступно три входа. Данный элемент с одним задействованным входом, так же, как и разделитель точечный, позволяет пользователю строить сложные маршруты линий между оборудованием.

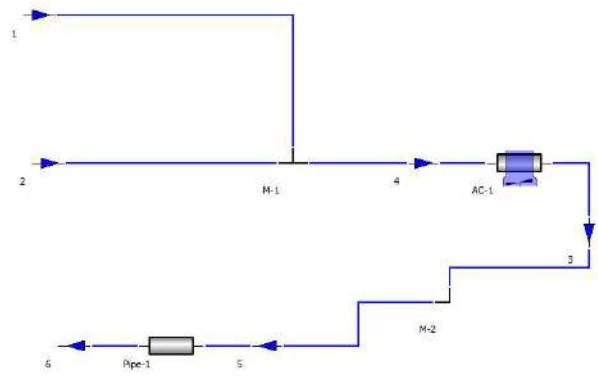


Рис.5.23.42 Схема со смесителем точечным

6. Элементы с фиксированной геометрией

6.1. АВО-2 (с фиксированными параметрами)



Инструмент : аво2; панель инструментов : создание оборудования

АВО с фиксированными параметрами не требует задания температуры на выходе, так как она определяется по геометрическим параметрам аппарата и теплофизическим параметрам флюида и окружающего воздуха. Входные параметры представлены на рис.6.1.1, математическая модель соответствует [1].

Общие параметры		Задание геометрии		
Название АВО		Задание геометрии		
ABO-1				
Входящие потоки				
вход 1	empty	Коэффициент обreibния	9.4321	
Выходящие потоки				
выход 1	empty	Общее количество труб	984	
Параметры				
Падение давления	0	МПа	Количество ходов	1
Температура воздуха на входе в аппарат	25	С	Минимальная проходная площадь между трубами	3
Расход воздуха	1440	м ³ /с	Длина трубы	4
Температура воздуха на выходе из аппарата	0	С	Наружный диаметр труб	28
Полная поверхность теплообмена	3285.7	м ²	Внутренний диаметр труб	22
<input type="button" value="Применить"/>		<input type="button" value="Сохранить"/>		
<input type="button" value="Отменить"/>		<input type="button" value="Отменить"/>		

Рис.6.1.1 Диалог задания АВО-2

6.2. Теплообменник универсальный



Инструмент : теплообменник универсальный; панель инструментов : создание оборудования

Теплообменник универсальный, в отличие от стандартного теплообменника, определяет температуры на обоих выходах через заданные поверхность теплообмена и ряда других параметров, необходимых для определения удельного коэффициента теплопередачи (КТП). КТП не является функцией исключительно типа и геометрических параметров теплообменника, но также зависит от расходов и свойств флюидов:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{b_1 \cdot G_1^{m_1} \cdot C_{P1}^{m_1} \cdot \mu_1^{m_1-n_1} \cdot \lambda_1^{1-m_1}} + \frac{\delta}{\lambda_{wall}} + \frac{1}{b_2 \cdot G_2^{m_2} \cdot C_{P2}^{m_2} \cdot \mu_2^{m_2-n_2} \cdot \lambda_2^{1-m_2}} \quad 6.2.1$$

где

K – коэффициент теплопередачи,

b_1, b_2 – коэффициенты теплопередачи, зависящие от типа и геометрических параметров,

G_1, G_2 – массовые расходы потоков 1 и 2 соответственно,

C_{P1}, C_{P2} – массовые теплоемкости потоков, определяемые как среднее от теплоемкости на входе и на выходе из аппарата,

μ_1, μ_2 – вязкости потоков, определяемые как среднее от вязкостей на входе и

на выходе из аппарата,

λ_1, λ_2 – коэффициенты теплопроводности потоков, определяемые как среднее от вязкостей на входе и на выходе из аппарата,

n_1, n_2 – степени чисел Рейнольдса в выражении для чисел Нуссельта, для потоков 1 и 2 соответственно,

m_1, m_2 – степени чисел Прандтля в выражении для чисел Нуссельта, для потоков 1 и 2 соответственно,

δ – эффективная толщина стенки,

λ_{wall} – коэффициент теплопроводности материала стенки.

Коэффициенты b_1 и b_2 , а так же параметры δ и λ_{wall} определяются в соответствии с методиками поверочного расчета теплообменника конкретного типа. Универсальный теплообменник способен моделировать как кожухотрубчатые, так и пластинчатые теплообменники с двумя ограничениями. Во-первых, коэффициент теплопередачи не зависит от свойств флюида в пристеночном слое. Во-вторых, расчет производится для одного режима, например турбулентного или ламинарного, так как коэффициенты уравнения не зависят от расходов потоков.

Для определения температур исходящих потоков из аппарата решается система из двух уравнений:

$$\begin{aligned}\Delta H_1 - K \cdot \Delta T \cdot F &= 0 \\ \Delta H_1 + \epsilon \cdot \Delta H_2 &= 0\end{aligned}$$

6.2.2

где

ΔH_1 – приращение энталпии для первого потока,

ΔH_2 – приращение энталпии для второго потока,

ϵ – коэффициент эффективности, учитывающий потери тепла во внешнюю среду,

F – поверхность теплообмена,

ΔT – средняя разница температур, определяемая по формуле:

$$\Delta T = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{\ln \frac{\Delta T_{max}}{\Delta T_{min}}} \quad 6.2.3$$

Для прямоточной схемы справедливо

$$\begin{aligned} \Delta T_{max} &= T_1^{input} - T_2^{input} \\ \Delta T_{min} &= T_1^{output} - T_2^{output} \end{aligned} \quad 6.2.4$$

для противоточной схемы

$$\begin{aligned} \Delta T_{max} &= T_1^{input} - T_2^{output} \\ \Delta T_{min} &= T_1^{output} - T_2^{input} \end{aligned} \quad 6.2.5$$

В случае, если поверхности теплообмена между потоком 1 и стенкой с одной стороны и потоком 2 и стенкой с другой стороны различны, то в один из коэффициентов b_1 или b_2 вводят отношение площадей. Если разделяющаяся стенка представляет собой трубу, то вместо реальной толщины стенки указывают эквивалентную толщину плоской стенки. Учет термического

сопротивления загрязнений также осуществляется пересчетом эквивалентной толщины стенки при фиксированном коэффициенте теплопроводности материала стенки.

Давления исходящих потоков определяются через давления входящих потоков и задаваемых явно величин падений давлений по каждому из потоков.

В разделе "Результаты" диалога приведены рассчитанные значения подведенной или отведенной теплоты в единицу времени для каждого потока и величина среднего логарифмического температурного напора.

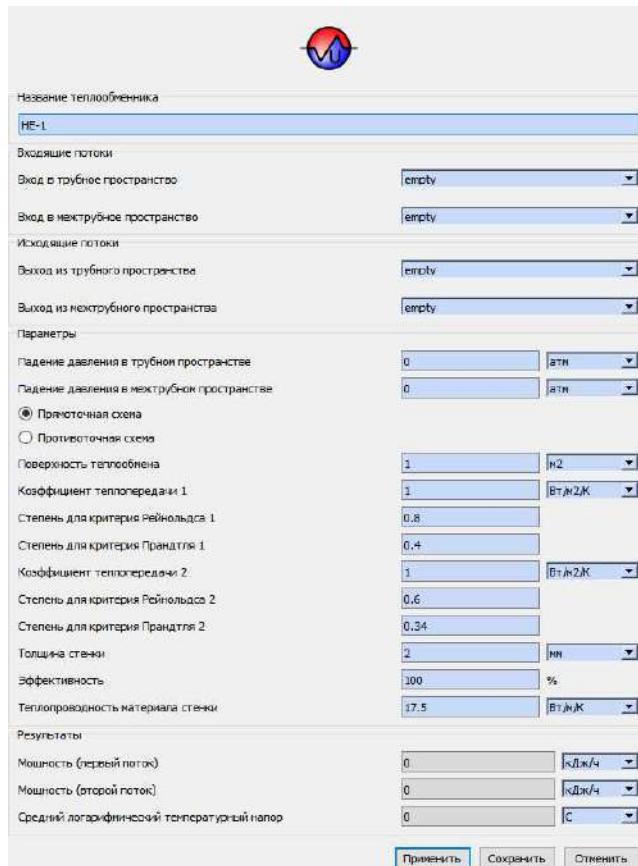


Рис.6.2.2 Диалог задания теплообменника с фиксированными параметрами

6.3. Теплообменник кожухо-трубчатый



Инструмент : теплообменник кожухотрубчатый; панель инструментов : создание оборудования

Расчет теплообменника кожухо-трубчатого [2] осуществляется с помощью теплообменника универсального, коэффициенты КТП в 6.2.1 рассчитываются по геометрическим параметрам аппарата. Диалог задания теплообменника представлен на рис.6.3.3 и рис.6.3.4.

Площадь теплообмена определяется по внутренней поверхности труб

$$F_{in} = \pi \cdot d_{in} \cdot L \cdot n \cdot k$$

где d_{in} – внутренний диаметр труб, L – длина камеры, n – количество труб в одном проходе, k – количество проходов, для U-образного теплообменника $k = 2$.

Формула для коэффициента теплопередачи 6.2.1 содержит коэффициенты теплообмена трубного пространства K_{in} и межтрубного пространства K_{out} , термического сопротивления труб с учетом отложений R_{wall} :

$$K = \frac{N}{\frac{1}{K_{in}} + R_{wall} + \frac{F_{in}}{K_{out} \cdot F_{out}}}$$

$$F_{out} = \pi \cdot (d_{in} + 2\delta) \cdot L \cdot n \cdot k$$

здесь δ – толщина стенок труб, N – количество подключенных последовательно аппаратов. Для расчета сопротивления труб используется формула

$$R_{wall} = \frac{1}{s_{in}} + \frac{1}{s_{out}} + \frac{d_{in} \cdot \ln(\frac{d_{in}+2\delta}{d_{in}})}{2\lambda_{wall}}$$

где λ_{wall} – коэффициент теплопроводности материала труб, s_{in} и s_{out} – тепловая проводимость загрязнений на внутренней и наружной поверхностях труб соответственно.

$$K_{in} = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_1}{d_{in}}$$

$$Nu_1 = 0.023 \cdot Re_1^{0.8} \cdot Pr_1^{0.4}$$

$$Re_1 = \frac{\rho_1 \cdot d_{in} \cdot v_1}{\mu_1}$$

$$Pr_1 = \frac{\mu_1 \cdot C_{P1}}{\lambda_1}$$

$$S_1 = \frac{\pi \cdot d_{in}^2 \cdot n}{4}$$

$$v_1 = \frac{G_1}{\rho_1 \cdot S_1}$$

где λ_1 , ρ_1 и μ_1 – средние значения, определяемые как полусумма свойств входящего и исходящего потока (для текущей оценки температуры исходящего потока).

Для потока межтрубного пространства

$$K_{out} = Nu_2 \cdot \frac{\lambda_2}{d_{in} + 2\delta}$$

$$Nu_2 = 0.24 \cdot Re_2^{0.6} \cdot Pr_2^{0.34}$$

$$Re_2 = \frac{\rho_2 \cdot (d_{in} + 2\delta) \cdot v_2}{\mu_2}$$

$$Pr_2 = \frac{\mu_2 \cdot C_{P2}}{\lambda_2}$$

где λ_2 , ρ_2 и μ_2 – средние значения, определяемые аналогично значениям для первого потока.

$$v_2 = \frac{G_2 \cdot 4}{\rho_2 \cdot S_2}$$

$$S_2 = \frac{L \cdot x}{P + 2} \cdot \frac{D_{ch} + d_{in} + 2\delta}{x + d_{in} + 2\delta}$$

где x – шаг труб, P – количество перегородок, D_{ch} – внутренний диаметр камеры. Эта формула приблизительно оценивает поперечный просвет между трубами в центре трубы. Здесь в корреляции для числа Нуссельта указаны коэффициенты для турбулентного режима.

Параметры для универсального теплообменника приведены в диалоге оборудования и определяются по формулам:

$F = N \cdot F_{in}$ – площадь теплообмена,

$\delta_{eq} = R_{wall} \cdot \lambda_{wall}$ – эквивалентная толщина стенки труб,

λ_{wall} – коэффициент теплопроводности материала труб,

$n_1 = 0.8$, $m_1 = 0.4$, $n_2 = 0.6$, $m_2 = 0.34$ – показатели степени,

$$b_1 = 0.023 \frac{d_{in}^{0.8-1}}{S_1^{0.8}}, b_2 = 0.24 \frac{(d_{in}+2\delta)^{0.6-1}}{S_2^{0.6}}.$$

В разделе "Результаты" диалога приведены рассчитанные значения подведенной или отведенной теплоты в единицу времени для каждого потока и величина среднего логарифмического температурного напора.

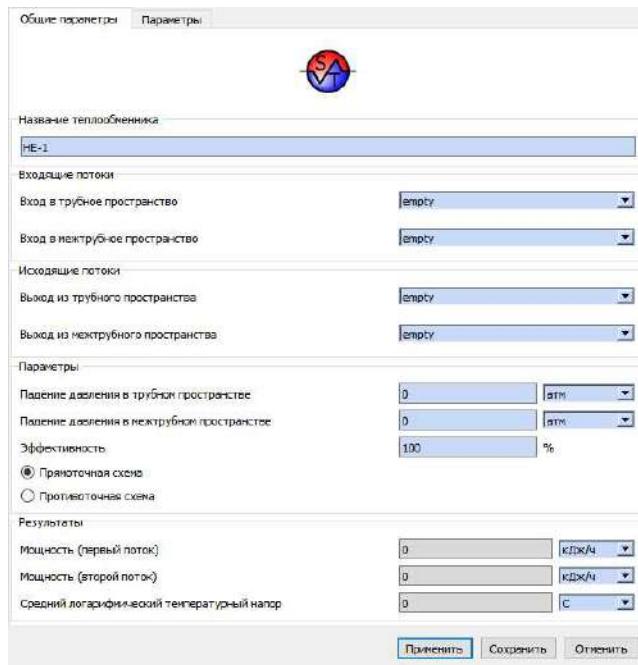


Рис.6.3.3 Диалог задания теплообменника кожухо-трубчатого

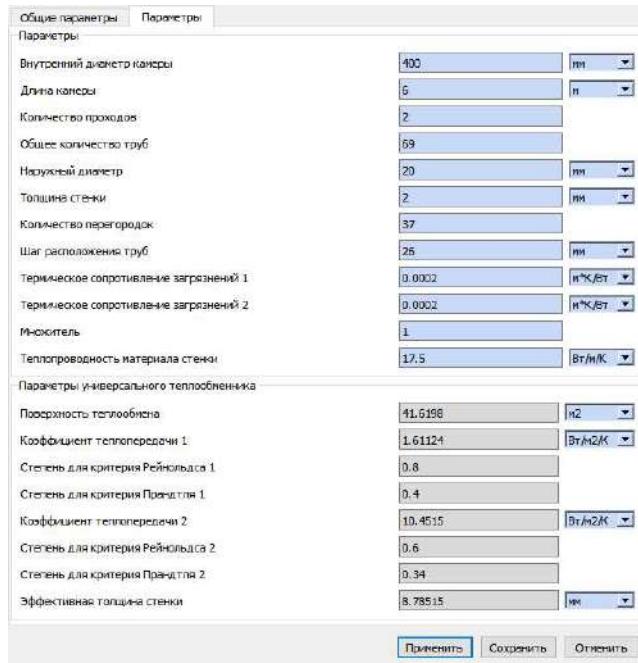


Рис.6.3.4 Геометрические параметры теплообменника кожухо-трубчатого

6.4. Теплообменник пластинчатый



Инструмент : теплообменник пластинчатый; панель инструментов : создание оборудования

Расчет теплообменника пластинчатого [3] осуществляется с помощью теплообменника универсального, коэффициенты КТП в 6.2.1 рассчитываются по геометрическим параметрам аппарата. Диалог задания теплообменника представлен на рис.6.4.5 и рис.6.4.6. Реализованный пластинчатый теплообменник учитывает только турбулентный режим, и не учитывает число Прандтля в пристеночном слое.

Параметры универсального теплообменника определяются следующим образом

$F = S_1 \cdot n_c$ – суммарная площадь теплообмена,

$m_1 = m_2 = 0.43$, $n_1 = n_2 = 0.73$ — показатели степени,

$$b_1 = 0.135 \cdot \frac{d_{eq}^{n_1-1}}{M_1^{n_1} \cdot S^{n_1}},$$

$$b_2 = 0.135 \cdot \frac{d_{eq}^{n_2-1}}{M_2^{n_2} \cdot S^{n_2}},$$

где

S_1 – площадь одной пластины,

$n_c = M_1 \cdot N_m \cdot 2$ – количество пластин,

M_1 – количество каналов в пакете 1,

M_2 – количество каналов в пакете 2,

N_m – количество пакетов,

S – поперечное сечение канала,

d_{eq} – эквивалентный диаметр канала.

В разделе "Результаты" приведены рассчитанные значения подведенной или отведенной теплоты в единицу времени для каждого потока и величина среднего логарифмического температурного напора.

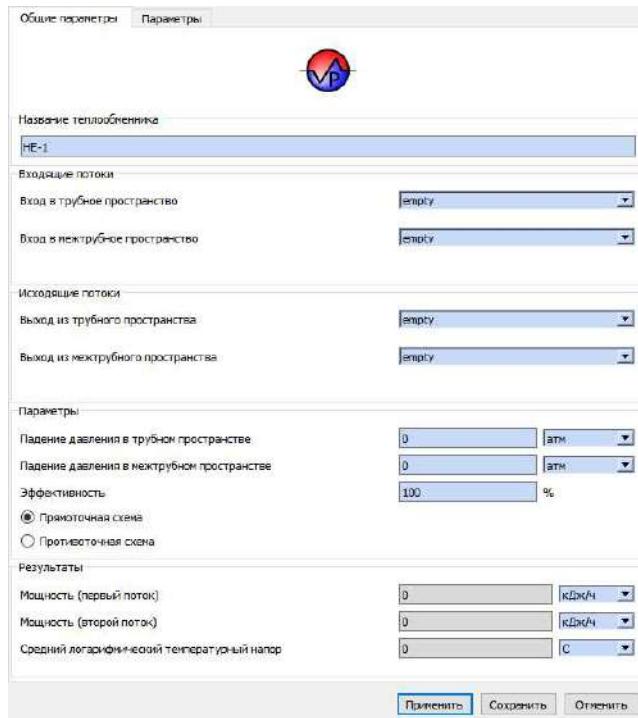


Рис.6.4.5 Диалог задания теплообменника пластинчатого

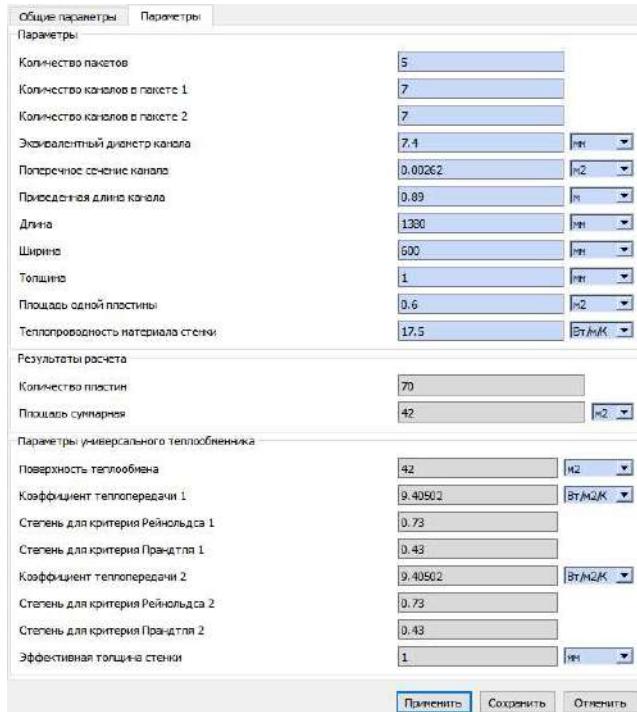


Рис.6.4.6 Геометрические параметры теплообменника пластинчатого

6.5. Эжектор с фиксированной геометрией



Инструмент : эжектор с фиксированной геометрией; панель инструментов : создание оборудования для гидравлических схем

Эжектор с фиксированной геометрией служит для моделирования поведения эжектора с определенной геометрией при различных граничных условиях и составах входных потоков. Элемент данного типа имеет три базовых режима функционирования: режим определения максимального давления, режим определения давления по заданному статическому давлению на выходе, режим гидравлического элемента. В первых двух режимах элемент не включает в себя гидравлических переменных и уравнений, поэтому входные расходы не

регулируются. Они рассчитываются и приводятся в диалоге элемента для справки. Расчет производится для заданного статического давления на выходе из эжектора. В первом режиме (максимального давления) выходной поток получает максимально возможное полное давление при данных условиях и расчетных расходах. При этом суммарный расход выходного потока равен сумме входных расходов, поэтому следует внимательно относиться к получаемым результатам и соотносить указанные и расчетные расходы. Во втором режиме выходной поток получает полное давление, которое соответствует указанному статическому. Разница между двумя подходами проявляется только на критическом режиме эжектора, то есть при наличии скачка уплотнения в диффузоре. Первый режим исходит из условия отсутствия дополнительных потерь полного давления в скачке, второй – рассчитывает эти потери из условия заданного статического давления на выходе.

Режим использования эжектора в гидравлическом расчете включается в диалоге элемента. При этом активируется гидравлическая переменная – статическое давление на выходе, а также два гидравлических уравнения – невязки расходов НД и ВД относительно расчетных. В простейшей схеме, в которой за эжектором стоит потребитель с заданным давлением, решение гидравлической задачи заключается в нахождении такого выходного статического давления эжектора, которому соответствует фиксированное давление в потребителе, и таких расходов НД и ВД, которые соответствуют режиму функционирования эжектора при заданных полных давлений НД и ВД и статическому выходному.

Эжектор задается через геометрические параметры (рис.6.5.12-8), это диаметры сечения ВД и НД, причем последний является также диаметром камеры смешения, выходной диаметр и диаметр диффузора. Последние два размера определяют угол раскрытия диффузора, влияющий на потери полного давления в нем. Длина камеры смешения в расчетах не используется. При выборе сверхзвукового эжектора дополнительно следует задать диаметр сопла

ВД. Входные диаметры следует рассматривать не как размеры физического эжектора, а как параметры, определяющие площади входных сечений. Так, обозначив диаметр входа НД через d_2 , диаметр входа ВД через d_1 , соответствующие площади сечений F_2 , F_1 и площадь камеры смешения F_3 определяются выражениями:

$$F_1 = \frac{\pi d_1^2}{4}$$

$$F_2 = \frac{\pi(d_2^2 - d_1^2)}{4}$$

$$F_3 = \frac{\pi d_2^2}{4}$$

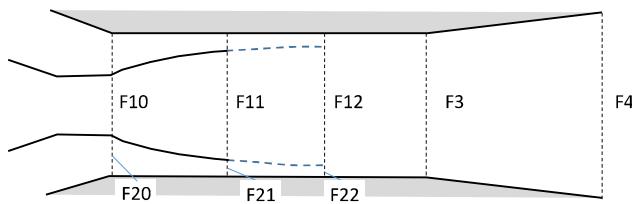


Рис. 6.5.7 Сверхзвуковой эжектор

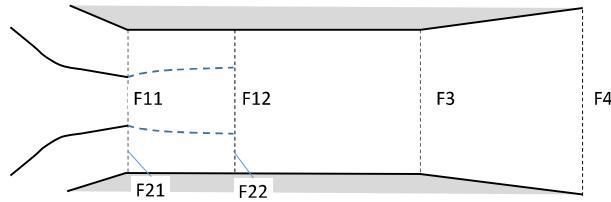


Рис. 6.5.8 Звуковой эжектор

Расчет эжектора при заданных входных полных давлениях и выходном статическом давлении заключается в определении режима работы эжектора и соответствующих ему расходах входов НД и ВД. Предполагается, что обратные токи невозможны, то есть на входах стоят условные обратные клапана и при определенных условиях один или оба входа перекрываются. Всего рассматривается 11 возможных режимов. Режимы, в которых нет полного запирания, требуют хорошего согласования входных и выходного давлений, поэтому они трудно осуществимы, и, по определению, не являются рабочими для эжектора. Основным режимом является критический режим 6 (рис.6.5.9), именно для него далее будет приведена последовательность расчета. Расчет

звукового эжектора отличается от сверхзвукового тем, что критическое (минимальное) F_{10} сечение совпадает с входом в камеру, при этом ряд режимов течения из полного списка теряют свою актуальность.

В таблице и далее под λ подразумевается относительная скорость, то есть отношение скорости потока к критической скорости потока при данной температуре.

Номер режима	Описание	Режимы течения в эжекторе				
		Расход ВД	Расход НД	Сверхзвук ВД	Сверхзвук НД	Запирание
1	перекрытие НД, сверхзвуковой по ВД	$>0, \lambda_{10} = 1$	0	да	-	да
2	перекрытие НД, дозвук по ВД	$>0, \lambda_{10} < 1$	0	нет	-	нет
3	перекрытие ВД, дозвук по НД	0	$>0, \lambda_{21} < 1$	-	нет	нет
4	перекрытие ВД, сверхзвук по НД	0	$>0, \lambda_{21} = 1$	-	да	да
5	перекрытие ВД и НД	0	0	-	-	-
6	основной закритический режим	$>0, \lambda_{10} = 1$	$>0, \lambda_{22} = 1$	да	да	да
7	дозвуковой режим	$>0, \lambda_{10} < 1$	$>0, P_{11}^{stat} = P_{21}^{stat}$	нет	нет	нет
8	закритический с дозвуковым участком ВД	$>0, \lambda_{10} = 1$	$>0, \lambda_{21} < 1$	да	да	да
9	дозвук ВД, сверхзвук НД	$>0, \lambda_{10} < 1$	$>0, \lambda_{21} = 1$	нет	да	нет
10	дозвук НД, сверхзвук ВД	$>0, \lambda_{10} = 1$	$>0, \lambda_{22} < 1$	да	нет	нет
11	сверхзвуковой	$>0, \lambda_{10} = 1$	$>0, \lambda_{21} = 1$	да	да	да

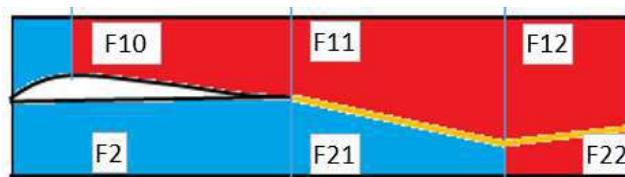


Рис.6.5.9 Основной закритический режим

В основном режиме полагается $\lambda_{10} = 1$, что определяет расход ВД по формуле:

$$q = \frac{G\sqrt{2C_P T}}{A(\gamma)P F}$$

$$A(\gamma) = \gamma \cdot \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{1}{\gamma-1}} \cdot \sqrt{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}$$

где G – массовый расход, C_P – удельная теплоемкость изобарного процесса, T – температура, F – площадь сечения, P – полное давление, индексы сечения опущены.

Газодинамическая функция $q(\lambda, \gamma)$ в сечении 10 равна 1, а в общем случае определяется выражением:

$$q(\lambda, \gamma) = \left(\frac{\gamma+1}{2}\right)^{\frac{1}{\gamma-1}} \cdot \lambda \cdot \left(1 - \frac{\gamma-1}{\gamma+1} \cdot \lambda^2\right)^{\frac{1}{\gamma-1}}$$

где $\gamma = C_P/C_V$ – показатель адиабаты, 'C_V' – удельная теплоемкость изохорного процесса.

Значение λ_{11} определяется из условия

$$q(\lambda_{11}, \gamma_1) = \frac{F_{10}}{F_{11}}$$

где F_{10} – площадь сопла ВД, F_{11} – площадь ВД на входе в камеру смешения.

Значение λ_{21} подбирается итерационным процессом в пределах от 0 до 1 из условия выполнения уравнения

$$z(\lambda_{11}) - z(\lambda_{12}) \cdot q(\lambda_{11}, \gamma_1) + Y \cdot q(\lambda_{21}, \gamma_2) \cdot (z(\lambda_{21}) - 2) = 0$$

где λ_{12} связано с λ_{21} уравнением

$$q(\lambda_{12}, \gamma_1) = \frac{a \cdot q(\lambda_{11}, \gamma_1)}{1 + a \cdot q(\lambda_{21}, \gamma_2)}$$

Здесь

$$\begin{aligned}
z(\lambda) &= \lambda + \frac{1}{\lambda} \\
a &= \frac{F_1}{F_2} \\
Y &= \frac{B(\gamma_2) \cdot A(\gamma_2)}{B(\gamma_1) \cdot A(\gamma_1) \cdot a \cdot \sigma} \\
B(\gamma) &= \sqrt{1 - \frac{1}{\gamma^2}} \\
\sigma &= \frac{P_1}{P_2}
\end{aligned}$$

Расход НД определяется по той же формуле, что и для ВД, по полученному значению λ_{21} и площади F_{21} . Далее определяется скорость на входе из камеры

$$\begin{aligned}
n &= \frac{G_2}{G_1} \\
\theta &= \frac{T_2 C_{P2}}{T_1 C_{P1}} \\
\gamma_3 &= \frac{\gamma_1 \gamma_2 (n C_{P2} + C_{P1})}{C_{P1} \gamma_2 + n C_{P2} \gamma_1} \\
z(\lambda_3) &= \frac{B(\gamma_2) \cdot n \cdot \sqrt{\theta} \cdot z(\lambda_2) + B(\gamma_1) \cdot z(\lambda_1)}{B(\gamma_3)} \sqrt{\frac{n+1}{n \cdot \theta + 1}}
\end{aligned}$$

причем из двух решений для λ_3 берется дозвуковое, то есть $\lambda_3 < 1$

Коэффициент повышения давления эжектора без учета диффузора и потерь в камере определяется по формуле

$$\epsilon_{eject} = \frac{P_3}{P_2} = \frac{(a+1) \cdot \sigma \cdot q(\lambda_1, \gamma_1) \cdot A(\gamma_1)}{q(\lambda_3, \gamma_3) \cdot A(\gamma_3)} \sqrt{\frac{n\theta+1}{n+1}}$$

Величина λ_3 используется для расчета потерь в диффузоре, которые определяются по таблицам в зависимости от угла раскрытия диффузора [4] рис.6.5.10

$$M = \frac{\lambda_3 \sqrt{2}}{\sqrt{(\gamma_3 + 1) - (\gamma_3 - 1)\lambda_3^2}}$$

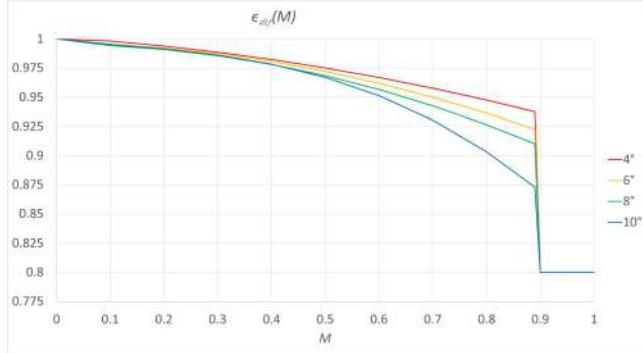


Рис. 6.5.10 Потери полного давления в диффузоре

Выходное давление P_{out} в итоге определяется через суммарный коэффициент повышения давления, который равен

$$\epsilon = \frac{P_{out}}{P_2} = \epsilon_{eject}\epsilon_{dif}\epsilon_{fric}$$

где ϵ_{fric} – коэффициент потерь на трение, задаваемый вручную. Если $P_{out} > P_1/1.3$, то принимается $P_{out} = P_1/1.3$. Статическое давление, соответствующее расчитанному полному выходному давлению, должно превышать заданное выходное статическое давление. В зависимости от режима расчета, это полное давление задается в выходном потоке, или же уменьшается до значения, которому соответствует указанное пользователем или гидравлическим решателем выходное статическое давление.

Температура выходного потока определяется не по формулам расчета эжектора, а из условия сохранения энталпии при приведении давления смеси к полученному выходному давлению.

Следует отметить, что формулы расчета эжектора явно или неявно опираются на модель идеального газа для ВД, НД и их смеси. В то же время, параметры потока, как теплоемкость, берутся из расчета смеси, причем допускается наличие жидкой фазы во входном потоке.

Диалог задания элемента типа "эжектор с фиксированной геометрией" приведен на рис.6.5.11-7.

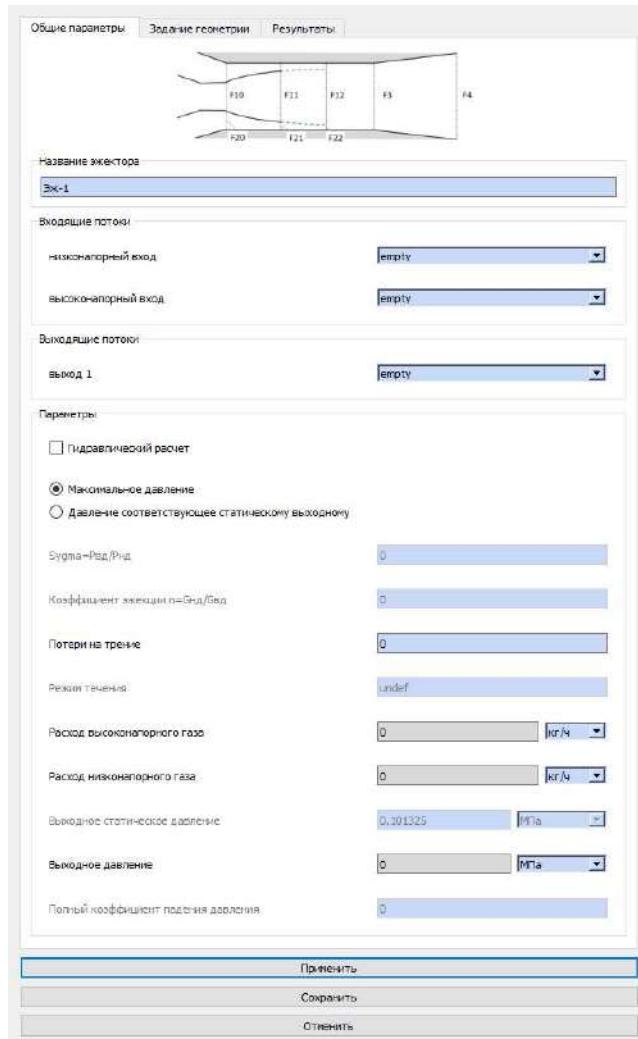


Рис.6.5.11 Диалог задания эжектора

Общие параметры		Задание геометрии		Результаты	
Параметры					
<input checked="" type="radio"/> Сверхзвуковой	<input type="radio"/> Звуковой				
Диаметр сопла ВД	259.772	mm	Коэффициент подъема давления в диффузоре	0	
Диаметр ВД	552.791	mm	Отношение температур	0	
Диаметр НД (каперы)	821.472	mm	Приведенная скорость ВД	0	
Базисный диаметр диффузора	1323.14	mm	Приведенная скорость НД	0	
Длина каперы сжатия	500	mm	Давление выходной температуры	0	°C
Диаметр диффузора	1000	mm	Ошибка расхода ВД	0	mm/s
Площадь сопла ВД	0	m ²	Ошибка расхода НД	0	mm/s
Площадь сечения ВД	0	m ²			
Площадь сечения НД	0	m ²			
Площадь каперы	0	m ²			
Высотная площадь диффузора	0	m ²			
Отношение площадей	0				
Угол раскрытия диффузора	0				
<input type="button" value="Применить"/> <input type="button" value="Сохранить"/> <input type="button" value="Отменить"/>					
<input type="button" value="Применить"/> <input type="button" value="Сохранить"/> <input type="button" value="Отменить"/>					

Rис.6.5.12 Диалог задания эжектора

7. Специальные элементы

7.1. Задание потока



Инструмент : задание потока; панель инструментов : управление и оптимизация

Элемент типа задание потока служит для переопределения одного или нескольких параметров – давления, температуры и расхода. Допускается указывать массовый или мольный расход. Выбор фиксированных параметров отображается на элементе в виде букв Р (давление), Т (температура), G (массовый расход), М (мольный расход).

Элемент имеет два входа и один выход, один из входов является вспомогательным и его коннектор располагается снизу элемента. При простом использовании элемента рассматриваемого типа компонентный состав входного (главного) потока не меняется. В режиме подмешивания миксируются оба входных потока, расход дополнительного потока остается при этом неизменным, а расход главного потока подбирается из условия заданного суммарного расхода. Если же расход в элементе не задан, то смешивание происходит аналогично смешиванию в смесителе с возможностью задания выходной температуры и/или давления. Режим подмешивания используется, например, для варьирования уровня водосодержания при фиксированном общем расходе.

При включенном флаге "копировать компонентный состав из потока 2"

реализуется еще один режим функционирования элемента, при котором компонентный состав первого потока заменяется на состав второго потока, а остальные параметры наследуются из первого потока или определяются в самом элементе. Этот режим подходит для ряда гидравлических задач, где состав потока-источника с расходом в качестве гидравлической переменной определяется смешиванием других потоков в определенных пропорциях.

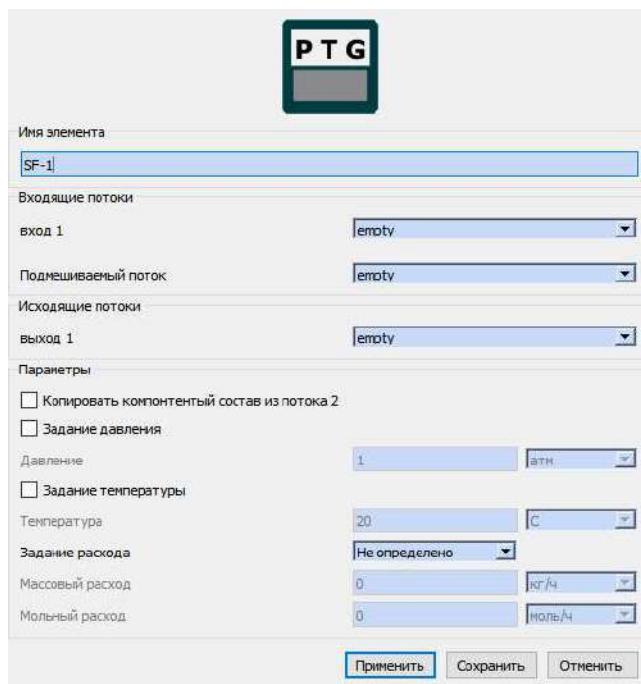


Рис.7.1.1 Диалог задания потока

7.2. Копия потока



Инструмент : копия потока; панель инструментов : создание оборудования

Элемент типа "копия потока" создает до трех потоков из одного с полным копированием всех параметров. Такие элементы, главным образом, служат для разбиения сложных схем на подсхемы, так как позволяют скрыть связи между

удаленными элементами (рис.7.2.3-а). В режиме создания связей исходящие соединения элементов типа "копия потока" отображаются пунктирными зелеными линиями (рис.7.2.3-б). Удаление исходящих соединений, помимо диалога, доступно в режиме удаления связей, если проводить линию отсечения через квадратные коннекторы на стороне элемента или потока.

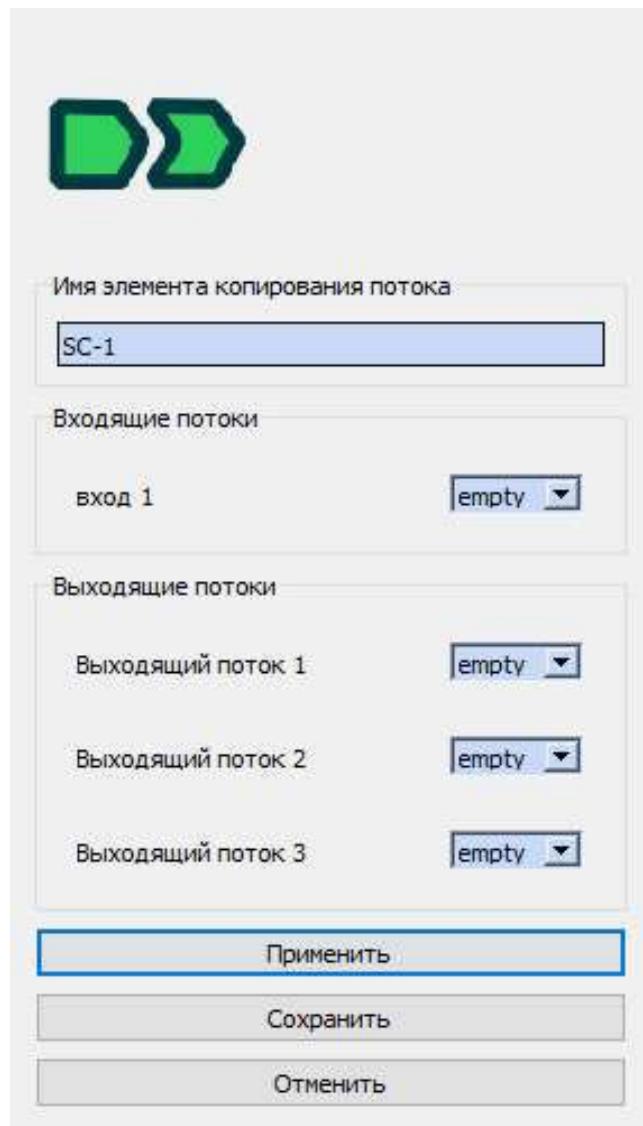


Рис.7.2.2 Диалог задания копии потока

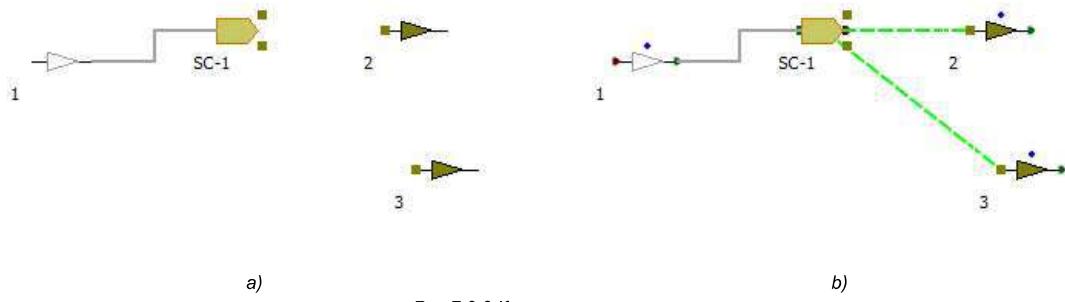


Рис.7.2.3 Копирование потока

7.3. Сенсор



Инструмент : датчик; панель инструментов : создание оборудования

Элемент типа сенсор служит для отображения результатов расчета в виде виртуальных датчиков и для сопоставления этих результатов с референсными значениями. Данные, доступные для сенсора, являются данными некоторого потока, в том числе потока внутри сложного элемента типа колонна.

Доступны следующие типы сенсора для одного потока:

- температура,
- давление,
- объемный расход,
- массовый расход,
- плотность,
- объем жидкости за фиксированный временной интервал,
- молярный вес.

Для двух потоков имеются следующие типы сенсоров:

- разница температур,
- разница давлений,
- отношение массовых расходов.

Для сенсора типа объемный расход имеется возможность выбрать опцию приведения к стандартным условиям. При этом будет произведен пересчет потока при 1 атмосфере и 20°C, а слева от датчика будет отображаться буква N. Формат вывода значений и единицы измерения задаются в диалоге (рис.7.3.4).

Референсные значения выводятся слева от основных значений, там же красным цветом показывается отклонение (рис.7.3.4, правый нижний сенсор). При работе с базой данных датчиков имеется возможность привязки референсных значений к датчикам.

Выбор входного потока для сенсора производится в диалоге сенсора, имеется альтернативный вариант сопряжения потока и сенсора с помощью мыши. В режиме задания связей у сенсора появляются два ромбовидных коннектора синего цвета и аналогичные коннекторы над каждым потоком (рис.7.3.5). Для колонны с ребойлером доступны к подключению три потока – верхней и нижней секций, а также возвратный поток ребойлера. Связь сенсора с потоком показывается на схеме серой пунктирной линией. Удаление связи производится исключительно в диалоге элемента типа "сенсор".

Общие параметры		Референс	
			
Sensor name <input type="text" value="Sensor-1"/>			
Входящие потоки			
Входящий поток 1	<input type="text" value="пусто"/>		
Входящий поток 2	<input type="text" value="пусто"/>		
Параметры			
Тип	<input type="text" value="Давление"/>		
Единицы измерения давления	<input type="text" value="атм"/>		
Единицы измерения температуры	<input type="text" value="С"/>		
Единицы измерения объемного	<input type="text" value="м3/ч"/>		
Единицы измерения расхода	<input type="text" value="—"/>		
Единицы измерения плотности	<input type="text" value="кг/м3"/>		
Единицы измерения объема	<input type="text" value="м3"/>		
Время накопления	<input type="text" value="3600"/> сек		
Формат	<input type="text" value="0.0"/>		
<input type="checkbox"/> Перевод в нормальные условия			
<input type="button" value="Применить"/>		<input type="button" value="Сохранить"/>	
<input type="button" value="Отменить"/>			

Общие параметры		Референс	
Референсные значения			
<input type="checkbox"/> Включено			
Давление	<input type="text" value="0"/> атм		
Температура	<input type="text" value="0"/> С		
Объемный расход	<input type="text" value="0"/> м3/сут		
Массовый расход	<input type="text" value="0"/>		
Плотность	<input type="text" value="0"/> кг/м3		
Объем	<input type="text" value="0"/> м3		
Отношение расходов	<input type="text" value="0"/>		
Молярный вес	<input type="text" value="0"/>		
<input type="button" value="Применить"/>		<input type="button" value="Сохранить"/>	
<input type="button" value="Отменить"/>			

Рис.7.3.4 Диалог задания сенсора

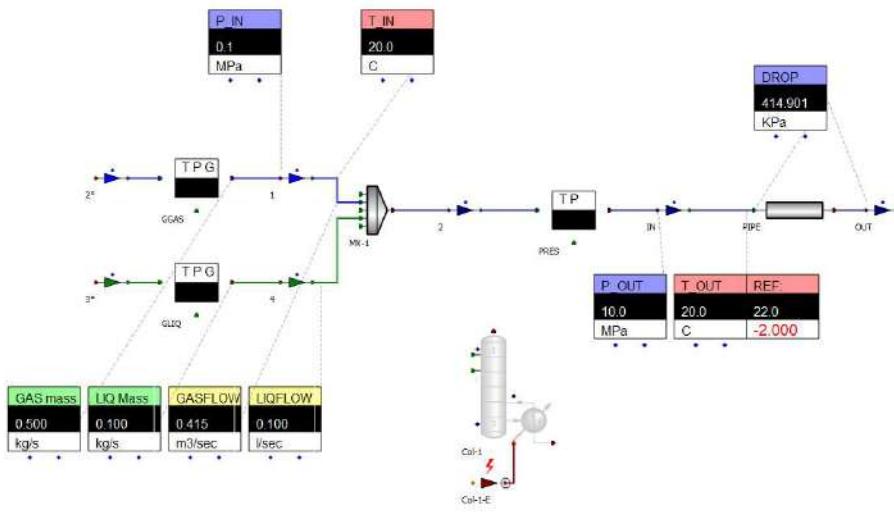


Рис. 7.3.5 Расчетная схема с сенсорами

7.4. Текст



Инструмент : текст; панель инструментов : создание сложного оборудования

Произвольный текст отображается как блок на схеме, его можно перемещать, копировать, удалять как обычное оборудование (рис.7.4.6, поз.2). Создание элемента типа "текст" производится нажатием кнопки на панели создания сложного оборудования (рис.1.2.50, поз.1). Двойной клик левой кнопкой мыши вызывает диалог для задания строк текста (рис.7.4.6 поз.3). допускается до 10 строк. Текст может быть показан с рамкой и без нее.

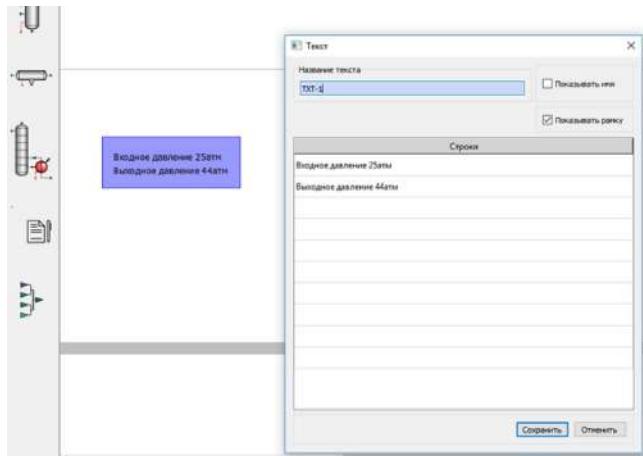


Рис.7.4.6 Элемент типа текст

7.5. Компонентный делитель



Инструмент : компонентный делитель; панель инструментов : создание оборудования

Элемент типа компонентный делитель служит для деления потока на три составляющих – газы и углеводороды до C4, тяжелые углеводороды и растворители. Элемент имеет один вход и три выхода, при этом активировать допускается любое количество выходов. На первый выход подаются полностью следующие компоненты: CS-Methane, CS-Ethane, CS-Propane, CS-N-butane, CS-Isobutane, CS-Oxygen, CS-Nitrogen, CS-Hydrogen-sulfide, CS-Carbon-dioxide, CS-Carbon-monoxide, CS-Helium-4, CS-Argon, CS-Hydrogen. На третий выход полностью подаются компоненты CS-Water, CS-Methanol, CS-Diethylene-glycol. На второй выход подаются все остальные компоненты.

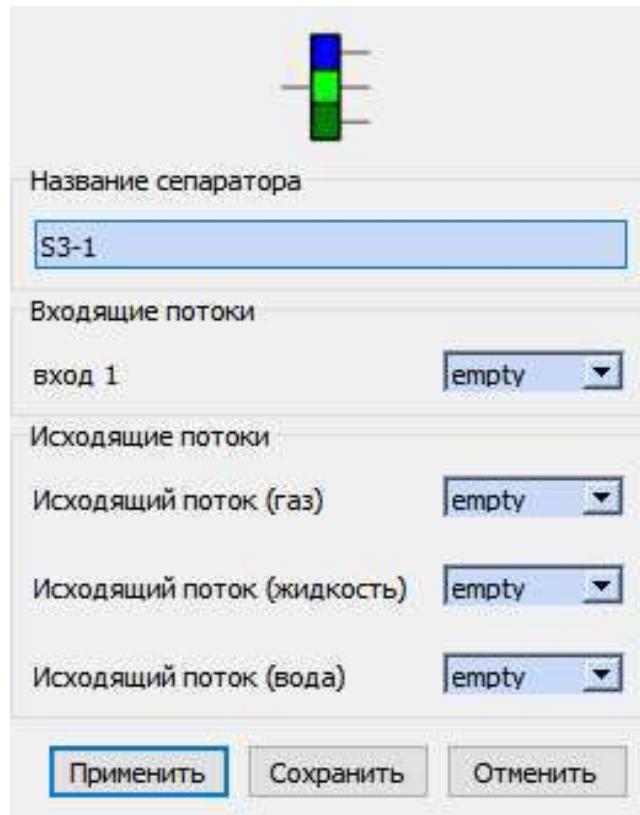


Рис.7.5.7 Диалог задания компонентного делителя

7.6. Скрипт (макрос)



Инструмент : макрос; панель инструментов : управление и оптимизация

Элемент типа скрипт служит для задания скрипта пользователя. Скрипт представляет из себя набор команд на языке Tcl, в который добавлены команды Aerosym. Скрипт является элементом расчетной схемы, он сохраняется вместе с моделью в базе.

Скрипт имеет четыре варианта запуска – ручной запуск, автоматический запуск при загрузке базы, перед расчетом и после расчета. Вариант запуска задается в диалоге (рис.7.6.8) и отображается в левом верхнем углу элемента (рис.7.6.9). Для ручного запуска следует либо нажать на пробел при указателе мыши над элементом, либо перейти в режим "элементы управления" и кликнуть на элемент, либо нажать кнопку запуска непосредственно в диалоге. Ручной запуск доступен при всех вариантах запуска. Для отключения автоматического запуска элемента скрипта следует деактивировать (как обычный элементы схемы). Порядок автоматического запуска нескольких элементов определяется их ID, то есть порядком их создания.

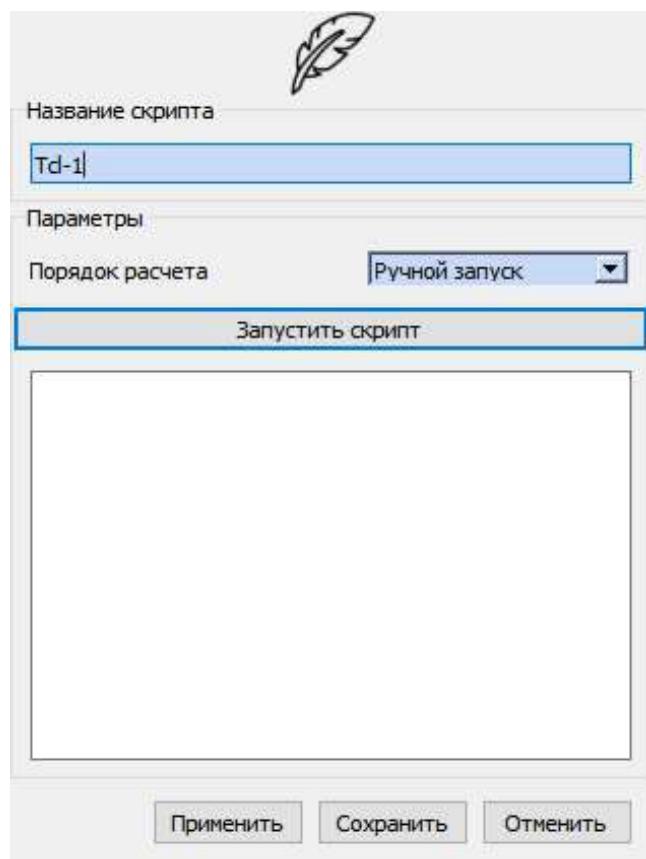


Рис.7.6.8 Диалог задания скрипта

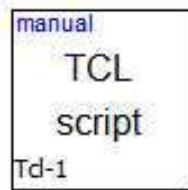


Рис. 7.6.9 Элемент типа скрипт

7.7. Объект привязок



Инструмент : объект привязок; панель инструментов : создание сложного оборудования

Элемент типа привязка служит для задания параметров расчетной модели из внешней базы данных датчиков или через переменные и выражения.

Диалог задания привязок содержит таблицу со следующими столбцами (рис.7.7.10):

- оборудование – название оборудования для привязки или имя создаваемой переменной (начинается с \$),

- тип привязки – температура, давление и т.д;
- имя датчика – используется для привязки к датчикам из базы данных,
- выражение – используется для вычисления выражений, зависящих от ранее определенных переменных,
- элемент управления – используется для получения значения из элемента управления,
- единицы измерения – задает единицы изменения для датчиков в базе данных,
- значение по умолчанию – задает значение, принимаемое в случае отсутствия данных для датчика,
- текущее значение – рассчитанное значение.

Имя объекта привязок:

LINK-1*

Параметры								
Оборудование	Тип	Имя датчика	Выражение	Элемент управления	Единицы изм.	Значение по умолчанию	Текущее значение	
1 #notexist	Температура		30		C	0		
2 1	Температура	TT_8003			C	0 2.344999999999999e+01		
3 1	Давление	PT_8005			атм	0 1.639999999999999e+00		
4 \$A	Выражение	TT_8003			Неопределено	0 2.344999999999999e+01		
5 \$B	Выражение		\$A-10		Неопределено	0 1.344999999999999e+01		
6 \$C	Выражение			CONTROL_1	Неопределено	0 5.000000000000000e+01		
7 1	Давление	PT_8005			MПа	0 1.639999999999999e+00		
8 SF-1	Давление	PT_8005			MПа	0 1.639999999999999e+00		
9 Col-1	Давление	PT_8005			MПа	0 1.639999999999999e+00		
10 PT_8005	Давление	PT_8005			MПа	0 1.639999999999999e+00		
11	Температура				C	0		
12	Температура				C	0		
13	Температура				C	0		

Рассчитать Применить Сохранить Отменить

Rис.7.7.10 Диалог задания привязок

Типы привязок по типам оборудования

Тип привязки	Тип оборудования	Параметр привязки
давление	колонна с ребойлером	давление в колонне, постоянное
давление	поток	давление потока, где допускается его задание
давление	задание потока	давление
давление	датчик	референсное значение, имя датчика
температура	колонна с ребойлером	температура ребойлера
температура	поток	температура потока, где допускается его задание
температура	задание потока	температура
температура	датчик	референсное значение, имя датчика
температура	трубопровод с двухфазным течением	температура окружающей среды
температура	АВО с фикс. геометрией	температура воздуха
массовый расход	поток	расход потока, где допускается его задание
массовый расход	задание потока	расход
массовый расход	датчик	референсное значение, имя датчика
объемный расход	датчик	референсное значение, имя датчика
выражение	имя переменной, должно начинаться с \$	-
управляющий параметр	элемент контроля	референсное значение, имя датчика
скорость ветра	трубопровод с двухфазным течением	скорость ветра
молярная масса	датчик	референсное значение, имя сенсора
доля	датчик	референсное значение, имя сенсора

Кнопки "Применить" и "Сохранить" вносят данные в из диалога в базу, пересчет схемы запускается при включенном авторасчете. При нажатии "Сохранить" диалог закрывается. Кнопка "Рассчитать" предназначена для выполнения расчета внутри объекта привязок с присваиванием параметров оборудованию, но без пересчета схемы.

Объекты привязок удобны для задания единого параметра – например температуры воздуха для АВО – для нескольких однотипных объектов. Для этого достаточно ввести одну переменную в объекте привязок и привязать ее там же ко всем необходимым объектам.

В каждой строке должно быть задано или имя датчика, или выражение, или элемент управления. В случае, если оборудования, датчика, или элемента управления с указанным именем не существует, а также в случае неправильного типа привязки, объект привязок на схеме отображается красным цветом, а в окно лога выводятся сообщения об ошибках.

Привязки вычисляются до расчета схемы, объект за объектом, в очередности создания объектов привязок. В одном объекте содержится до 20 привязок, которые вычисляются последовательно. В случае нескольких привязок, задающих один и тот же параметр элемента, он получает последнее значение. Вычисление привязок заключается в получении текущих данных датчиков или же вычисления выражения привязки, и в присваивании переменной или параметра элемента схемы.

Для исключения отдельной привязки из вычислений следует в первом столбце закомментировать имя объекта (переменной) символом #. Деактивация объекта блокирует вычисление всех привязок объекта. Это позволяет иметь в схеме набор расчетных случаев, задаваемых входными параметрами типа входных температур, давлений и расходов, температуры окружающей среды и т.п. , которые пользователь может выбирать путем активации и деактивации соответствующих объектов привязок.

В примере на рис.7.7.10:

- 1) закомментированная переменная
- 2) в потоке 1 задается температура по текущему значению датчика TT_8003, в базе данных значения датчика в градусах Цельсия
- 3) в потоке 1 задается давление по датчику PT_8005
- 4) создается переменная А по датчику TT_8003
- 5) создается переменная В, равная А-10
- 6) создается переменная С по значению элемента управления CONTROL_1

- 7) в потоке 1 задается давление по датчику PT_8005 в МПа – затирается значение из строки 3
- 8) в элементе задания потока SF-1 задается давление по датчику PT_8005 в МПа
- 9) в колонне Col-1 задается постоянное давление по датчику PT_8005 в МПа
- 10) в элементе датчика PT_8005 задается референсное значение по одноименному датчику

7.8. Псевдокомпоненты



Инструмент : псевдокомпоненты; панель инструментов : создание сложного оборудования

Элемент псевдокомпонентов используется для создания фракционного состава на основании средней температуры кипения, молярной массы и плотности каждой фракции [5]. Именно эти три столбца минимальны для заполнения в таблице исходных данных (рис.7.8.11). Вместо задания температуры кипения допускается задавать диапазон температуры кипения, в этом случае средняя температура кипения рассчитывается после нажатия кнопки "Рассчитать Ткип как среднее диапазона". При незаполненном столбце имен программа самостоятельно генерирует имена на основании температуры кипения. Остальные столбцы таблицы позволяют пользователю непосредственно задавать критические параметры создаваемых компонентов.

Кнопка "Импортировать из Hysys" производит импорт псевдокомпонент из xml файла данной программы. Заполняются все столбцы входных данных. Пользователю следует удалить ту информацию, которая не должна использоваться при генерации псевдокомпонентов.

После заполнения входных данных следует нажать "Рассчитать псевдокомпоненты". Результаты расчета свойств заносятся в таблицу на второй вкладке диалога (рис.7.8.12), но сами компоненты не создаются. Для их создания следует нажать кнопку "Сохранить псевдокомпоненты". При этом данные уже существующих псевдокомпонентов с идентичными именами обновляются. При включенном флаге "Активировать компоненты" новые компоненты буду добавлены в список активных. Флаг "Очистить семейство" удаляет неиспользуемые компоненты того же семейства – если задано имя семейства на первой вкладке. Имя семейства добавляется впереди имени компонента.

Расчет плотности газовой фазы для псевдокомпонент производится по уравнению состояния, расчет плотности жидкой и водной фазы – в соответствии с глобальными настройками. По умолчанию используется метод Ханкинсона и Томпсона, доступен также расчет по уравнению состояния. В обоих случаях заданная во входных данных плотность жидкости напрямую не используется. Расчет значений других физических свойств отдельных псевдокомпонент – теплопроводности, поверхностного натяжения, вязкости (для обычных компонент по умолчанию используются Т-корреляции) – производится по следующим методикам: теплопроводность газа – Эли-Хэнли, теплопроводность жидкости – Латини, вязкость газа – Лукас, вязкость жидкости – Летсти, поверхностное натяжение – Брок и Берд. Текущая версия не позволяет задавать пользователю вязкость псевдокомпоненты или импортировать эту информацию из Hysys.



Название псевдокомпонентов

Входные данные Рассчетные данные

Параметры

Имя семейства

Генерировать бинарные коэффициенты с CS-Methane

	Имя	Тмин.С	Тмакс.С	Ткип.С	Молярный вес	Плотность	Ткрит.К	Ркрит.атм	Zкрит
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
^									
<									
>									

Рассчитать Ткип как среднее диапазона Импортировать из Hysys Рассчитать псеводокомпоненты

Применить Сохранить Отменить

Рис.7.8.11 Диалог задания входных данных псеводокомпонент

Название псевдокомпонентов

OIL-1

Входные данные		Рассчетные данные						
Параметры								
	Имя	Ткрит.К	Ркрит.атм	Ткип.К	Зкрит	Зрэккет	Ацентрический фактор	Ацентрический фактор
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
^	<							>

Очистить семейство

Активировать компоненты

Рис.7.8.12 Диалог задания псевдокомпонент

7.9. Управление расходом



Инструмент : управление расходом; панель инструментов : создание сложного оборудования

Элемент типа "Управление расходом" задает коэффициент на расход потока. Схема с параллельными идентичными участками может быть корректно заменена расчетом одного участка с одним элементом данного типа ($x0.5$) в начале схемы и одним элементом ($x2$) в конце, что сократит время расчета.

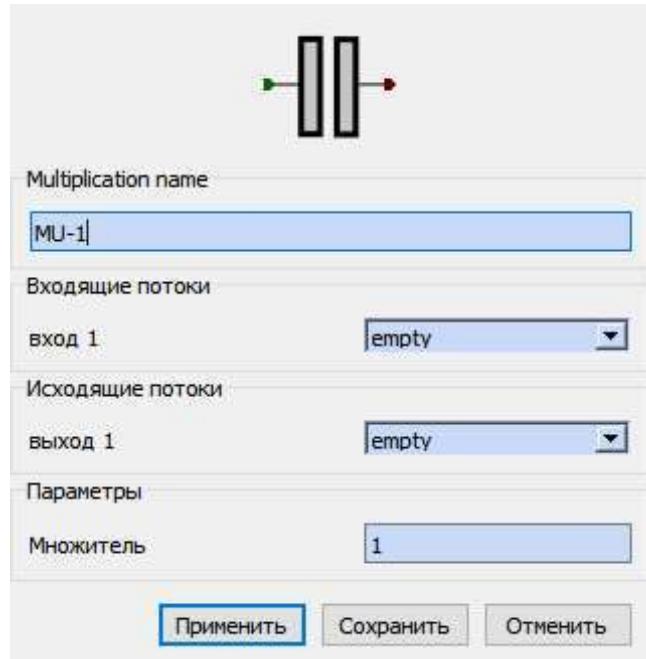


Рис.7.9.13 Диалог задания элемента управления расходом

7.10. Действие (кнопка)



Инструмент : действие; панель инструментов : создание сложного оборудования

Элемент типа действие представляет из себя кнопку в рабочей области, к которой привязано стандартное действие системы или некая команда пользователя.

В диалоге (рис.7.10.14) задаются свойства виджета – размеры, цвет, размер шрифта, позиции подэлементов. Цвет задается тремя целыми числами в диапазоне 0-255 через запятую, соответствующими интенсивностям красного, зеленого и синего цветов. Для изображения допускается один из встроенных Svg файлов (например @loadcontrol.svg, @savecontrol.svg, @loadvariable.svg, @savevariable.svg, @loadvalue.svg, @savevalue.svg, @setvalue.svg, @loadsensor.svg, @calculate.svg, @optimize.svg, @reverse.svg).

Стандартные команды выбираются из выпадающего списка поля "Тип":

- расчет,
- загрузить датчики из текстового файла,
- обновить референсные значения,
- сохранить референсные значения в текстовый файл,
- загрузить референсные значения из файла,
- сохранить переменные, загрузить управляющие переменные из файла,
- сохранить управляющие переменные в файл.

Здесь под переменными понимаются объекты типа "Контрольные значения", референсными значениями – референсные значения объектов "Контрольные значения", управляющими значениями – объекты "Элементы управления". При

обновлении референсных значений текущие значения заносятся в референсные.

Инициация команды производится нажатием левой кнопки мыши в режиме "Элементы управления" либо нажатием пробела при указателе мыши над объектом в стандартном режиме.

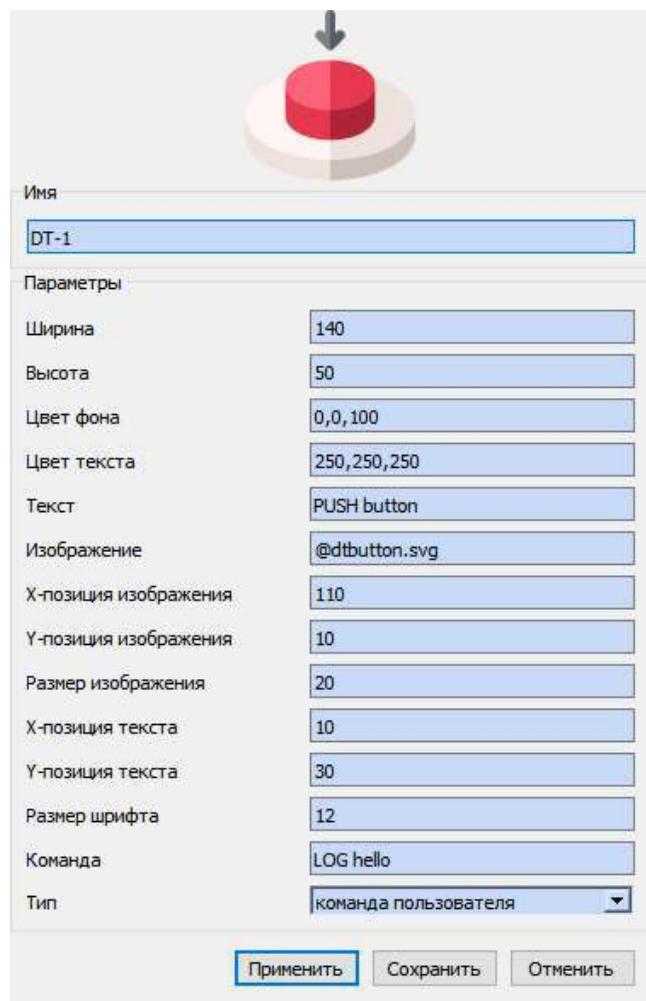


Рис. 7.10.14 Диалог задания кнопки

7.11. Элемент управления



Инструмент : элемент управления; панель инструментов : управление и оптимизация

Элемент управления представляет из себя элемент в рабочей области, управляющий одним параметром расчетной схемы – например расходом выбранного потока или оборотами двигателя. Пользователь привязывает элемент к параметру существующего объекта, указывает список или диапазон допустимых значений. Элемент управления показывает заданное значение параметра и позволяет быстро менять параметр без захода в диалог оборудования.

В диалоге (рис.7.11.15) на первой вкладке задаются свойства виджета – размеры, цвет, размер шрифта, позиции подэлементов.

На второй вкладке задается тип параметра и объекты для привязки, статус активности и допустимые значения. Первый вариант задания последних – списком значений через пробел. Для этого надо активировать одноименный флаг и вбить список в поле "Список значений". Второй вариант – через минимальное и максимальное значения диапазона и параметр разбиения диапазона.

Поддерживаются следующие типы параметров управления:

- коэффициент разделения для разделителя (с двумя выходами)
- температура ребайлера
- управление задвижкой (закрыто или открыто)
- открытие клапана (в процентах)
- управление парой задвижек в противофазе

- коэффициент расхода воздуха в АВО
- диаметр шайбы дросселя
- температура воздуха на входе в аппарат (АВО)
- расход (поток или задание потока)
- давление (поток или задание потока)
- температура (поток или задание потока)
- падение давления в клапане
- обороты насоса
- переменная (для объекта привязок)
- унос жидкости относительный (сепаратор и сепаратор внутритрубный)

В левой части виджета расположены два треугольных элемента, выполняющих команды перехода к следующему или предыдущему допустимому значению. Инициация команды производится либо нажатием левой кнопки мыши в режиме "Элементы управления", либо нажатием пробела при указателе мыши над треугольным элементом в стандартном режиме, либо нажатием стрелок вверх и вниз на клавиатуре при указателе мыши над объектом.

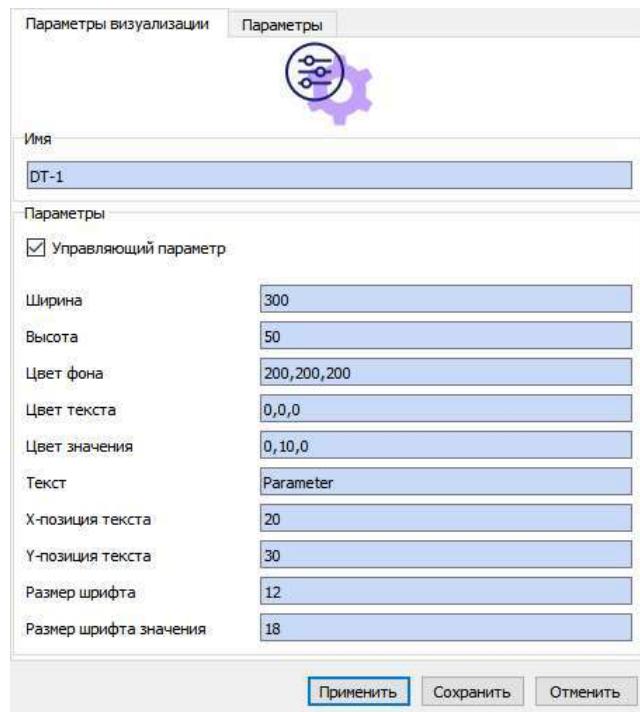


Рис.7.11.15 Диалог задания элемента управления, параметры отображения

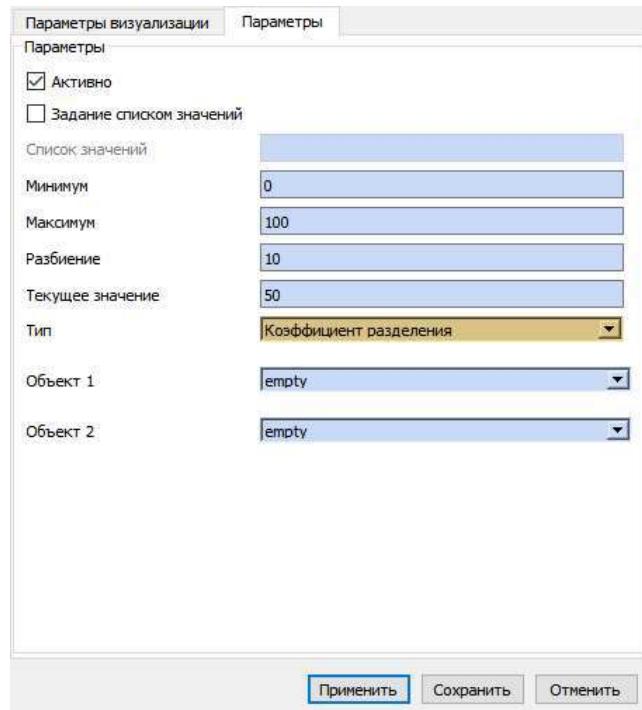


Рис.7.11.16 Диалог задания элемента управления



Рис.7.11.17 Элемент управления

7.12. Элемент контроля



Инструмент : элемент контроля; панель инструментов : управление и оптимизация

Элемент контроля представляет из себя элемент в рабочей области, показывающий один параметр расчетной схемы. Дополнительно данный элемент может показывать референсное значение и разницу между текущим и референсным значениями.

В диалоге (рис.7.12.18) на первой вкладке задаются свойства виджета – размеры, цвет, размер шрифта, позиции подэлементов.

На второй вкладке (рис.7.12.19) задается тип параметра и объект для привязки, референсное значение и привязка к датчику.

Поддерживаются следующие типы параметров контроля потока:

- Давление
- Температура
- Массовый расход
- Массовый расход пропана и бутанов
- Массовый расход пропана
- Массовый расход воды
- Массовый расход без воды
- Нормальный объемный расход
- Нормальный объемный расход без водной фазы
- Вода при -20С (массовая доля третьей фазы)
- Конденсат при -10С (массовая доля второй фазы)
- Точка росы (текущее давление)
- Точка росы по воде (текущее давление)

- Точка росы при 2.5-8.5МПа
- Точка росы по воде при 3.92МПа

В диалоге задается референсное значение и флаг "Показывать референс", это значение отображается серым цветом справа от текущего значения. Альтернативным способом получения референсного значения является подключение к базе датчиков – название датчика отображается в левом нижнем углу красным цветом. Под референсным значением красным цветом отображается разница между текущим и референсным значениями. При включенном флаге "Проценты" вместо абсолютной разницы приводится относительная разница в процентах. При включенном флаге "Разница" вместо текущего значения отображается разница.

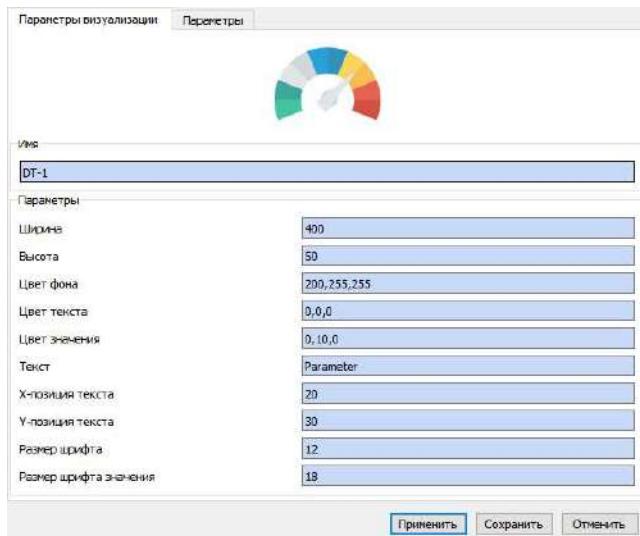


Рис.7.12.18 Диалог задания элемента контроля, параметры отображения

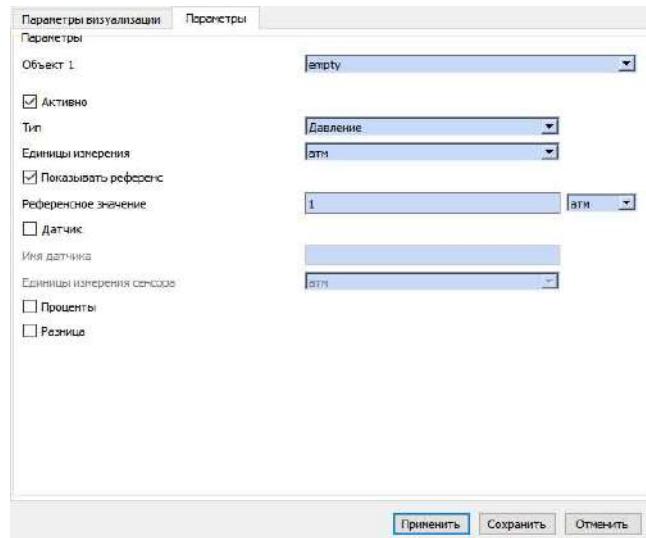


Рис.7.12.19 Диалог задания элемента контроля

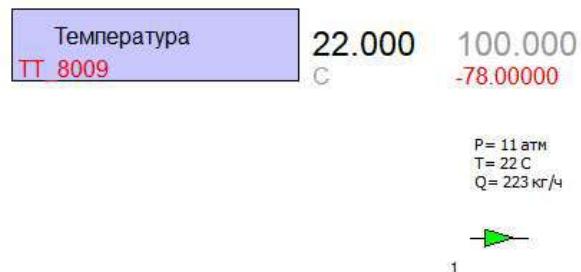


Рис.7.12.20 Элемент контроля

8. Элементы гидравлического расчета

8.1. Гидравлический расчет

Алгоритм гидравлического расчета, реализованный в Aerosym, базируется на постоянстве направлений потоков во всех элементах. Гидравлический решатель запускает итерации обычных расчетов, изменяя степени свободы и наблюдая невязки уравнений в элементах. Для схем без замкнутых контуров обычный расчет заключается в последовательном расчете элементов. Порядок элементов определяется простой сортировкой вершин ориентированного графа – элемент не считается, пока не посчитаны все входящие в него потоки. Расчет температур и составов выходных потоков происходит непосредственно при расчете элементов, поэтому для простых схем не требуется дополнительных итераций. Гидравлический расчет подразумевает наличие некоторое количество уравнений, и соответствующее ему количество степеней свободы – переменных, значения которых находятся для выполнения уравнений

$$f_j(x_1, \dots, x_n) = 0, j = 1, \dots, n$$

Степенями свободы являются расходы в источниках (входных потоках для схемы), коэффициенты разделения потоков в разделителях, дополнительные перепады давлений в элементах с эффектом запирания. Уравнениями являются условия равенства давлений в смесителях для входящих потоков, фиксированное давление или заданная напорная характеристика для потребителей (конечных потоков схемы), фиксированный расход в режиме запирания.

Для решения системы уравнений применяется метод Ньютона с расчетом

матрицы Якоби серией расчетов малых возмущений для каждого параметра:

$$J_{ij} = \frac{f_j(x_1, \dots, x_i + \delta x_i, \dots, x_n) - f_j(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)}{\delta x_i}$$

Вектор

$$\Delta x = J^{-1} \cdot f$$

определяет направление поиска для вектора степеней свободы следующей итерации.

Для схем с замкнутыми контурами обычный расчет происходит по следующей схеме:

- в ориентированном графе расчетной схемы определяются такие связи, разрыв которых переводят схему в схему без контуров. Потоки таких связей называются далее реверсными (обозначены кругом, рис.8.1.1).
- реверсные потоки инициализируются либо нулевыми значениями, либо значениями с предыдущего расчета,
- производится расчет схемы без контуров, в результате которого в реверсных потоках появляются новые значения температуры, давления, расхода и компонентного состава,
- на основании сравнения новых значений температуры, давления и массового расхода с предыдущими значениями для всех реверсных потоков расчет либо считается завершенным, либо запускается следующая итерация.

Описанный выше итерационный расчет соответствует решению системы уравнений вида

$$y = G(y)$$

где y – параметры реверсных потоков. В реверсных потоках сохраняется результаты нескольких последних итераций, что используется для применения метода Вегстейна для ускорения сходимости.

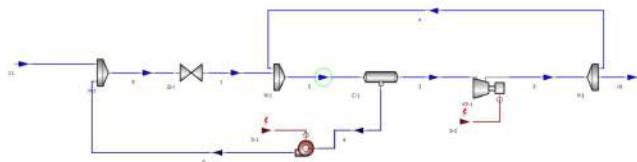


Рис.8.1.1 Схема с замкнутыми контурами, реверсные потоки

Гидравлический расчет схем с контурами проходит по описанной ранее схеме с той лишь разницей, что каждый расчет, в том числе и расчет возмущений для нахождения градиентов, представляет собой итерационный процесс до достижения сходимости в реверсных потоках.

Гидравлический расчет реализован в ядре Aerosym. В стандартном потоке есть флаг, указывающий решателю, что расход этого потока является степенью свободы. Гидравлические элементы, то есть те, которые задают степень свободы или уравнение, располагаются в отдельных библиотеках (.dll), загружаемых автоматически при запуске программы. Пользователь имеет возможность создавать новые гидравлические элементы путем написания собственных библиотек на C++. Для этого необходимо переопределить виртуальные функции базового класса:

- получить количество степеней свободы элемента,
- получить значение степени свободы и ее тип (расход, коэффициент разделения, давление),

- задать степень свободы,
- получить количество уравнений,
- рассчитать невязки уравнений.

Обычные элементы, без степеней свободы и уравнений, могут быть частью гидравлического расчета. Следует только помнить, что элементы, задающие фиксированные значения выходных давлений, способны вызвать противоречия с граничными условиями.

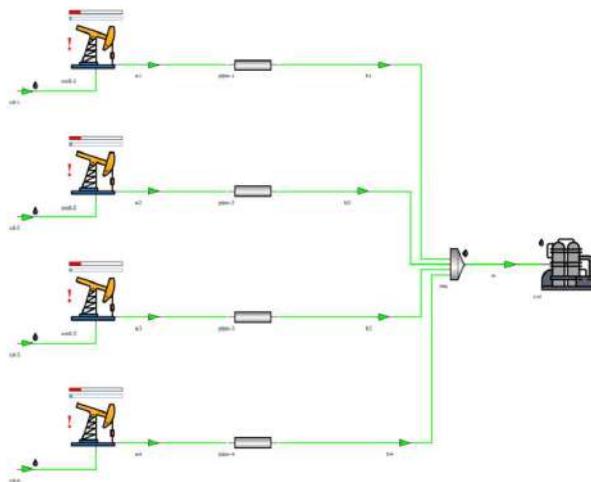


Рис. 8.1.2 Гидравлическая схема

8.2. Смеситель гидравлический



Инструмент : смеситель гидр.; панель инструментов : создание оборудования для гидравлических схем

Смеситель гидравлический служит для выравнивания давлений входных потоков. Для этого добавляется N-1 гидравлических уравнений, где N – количество активных входов. Отклонение входных давлений от давления первого активного потока формирует вектор невязок. Точность выполнения уравнений по умолчанию равна 0.01 атмосфер и может быть изменена в диалоге задания оборудования для каждого смесителя – рис.8.2.3. Выходное давление рассчитывается по формуле

$$P = \frac{1}{\sqrt[m]{\sum_{i=1}^N \frac{1}{NP_i^m}}}$$

где m – порядок сглаживания, равный по умолчанию 5. Согласно данной формуле, выходное давление получается между минимальным и максимальным давлениями входных потоков, причем, чем выше порядок сглаживания, тем выходное давление ближе к минимальному.

При сошедшемся расчете разница между минимальным и максимальным давлением практически отсутствует и результирующее давление не зависит от сглаживания. Если разница входных давлений превышает точность, то символ гидравлического расчета подсвечивается красным.

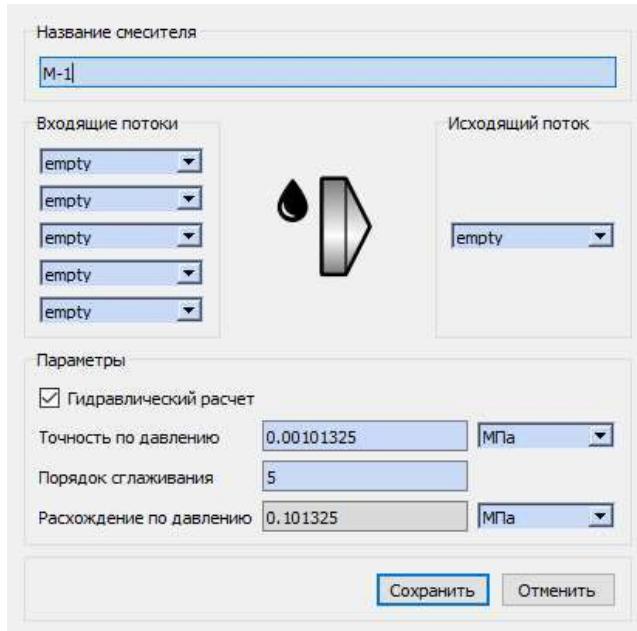


Рис.8.2.3 Диалог задания гидравлического смесителя

8.3. Тройник гидравлический



Инструмент : тройник гидр.; панель инструментов : создание оборудования для гидравлических схем

Тройник гидравлический служит для распределения входного потока между двумя выходами. Он содержит степень свободы – коэффициент разделения потоков от 0 до 1, который определяется в процессе решения гидравлической задачи с учетом сопротивлений и граничных условий веток после тройника.

В тройнике производится расчет коэффициентов сопротивления и соответствующих им падений давлений в выходных потоках в зависимости от коэффициента разделения потоков k и диаметров основного трубопровода и отвода в соответствии с [6]:

$$\zeta_1 = 1 - (1 - k)^2 - (1.4 - k) \cdot k$$

$$\zeta_2 = A \cdot \left[1 - 2(1 - k)^2 + \left(\frac{k}{f} \right)^2 \right]$$

$$f = \frac{D_2^2}{D_1^2}$$

$$A = \begin{cases} 1, f \leq 0.35 \\ 0.9 \cdot (1 - k), f > 0.35, k < 0.389 \\ 0.55, f > 0.35, k > 0.389 \end{cases}$$

Значения коэффициента разделения и коэффициентов сопротивления приведены в диалоге оборудования рис.8.3.4.

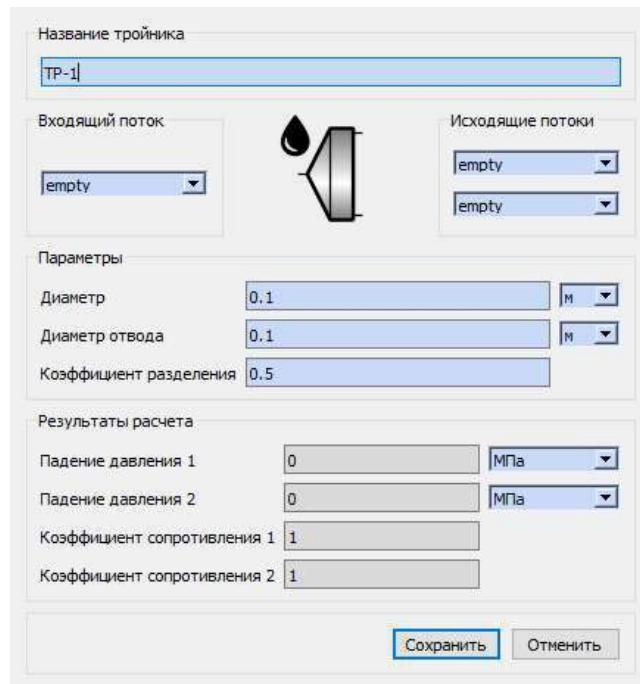


Рис.8.3.4 Диалог задания гидравлического смесителя

8.4. Дроссель



Инструмент : дроссель; панель инструментов : создание оборудования для гидравлических схем

Элемент дроссельной шайбы или штуцера моделирует объекты типа сужающего быстросъемного устройства (УСБ), регулирующего устройства (УР), штуцера. В данных устройствах имеется местное сужение, приводящее к падению давления и ограничивающее расход вследствие эффекта запирания. Аналогично управляющему клапану, дроссельная шайба имеет два режима функционирования – докритический и критический. При критическом режиме дроссельная шайба лимитирует расход и давление за дроссельной шайбой определяется характеристикой сети за ней. Для этого элемент дроссельной шайбы создает одну степень свободы – дополнительное падение давления ΔP_{dof} и одно уравнение. При докритическом режиме это уравнение приравнивает дополнительное падение давления нулю, при критическом – приравнивает нулю разницу между текущим и критическим расходами.

Выходное давление определяется по формуле

$$P_2 = P_1 - \Delta P_{calc} - \Delta P_{dof}$$

при докритическом режиме $\Delta P_{calc} = \Delta P_w \equiv \frac{\zeta \rho w^2}{2}$,

при критическом режиме $\Delta P_{calc} = \Delta P_{ch}$.

где P_2 – выходное давление, P_1 – входное давление, ζ – коэффициент местного сопротивления, ρ – плотность входящего потока, w – скорость входящего потока, рассчитанное для заданного диаметра трубы до сужения, ΔP_{ch} – критический перепад давления.

Коэффициент местного сопротивления выражается через коэффициент местного сопротивления для однофазного потока ζ_0 , определяемое по [6], и поправку на расходное газосодержание β :

$$\zeta = \zeta_0 [k_1 \cdot (1 - \beta^{m_1}) + k_2 \cdot \beta^{m_2}]$$

Коэффициенты k_1, m_1, k_2, m_2 задаются пользователем и равны по умолчанию 1, 2.5, 1 и 80 соответственно. Вид функции ζ_0/ζ представлен на рис.8.4.5, эта зависимость имитирует экспериментальные кривые, приведенные в [7].

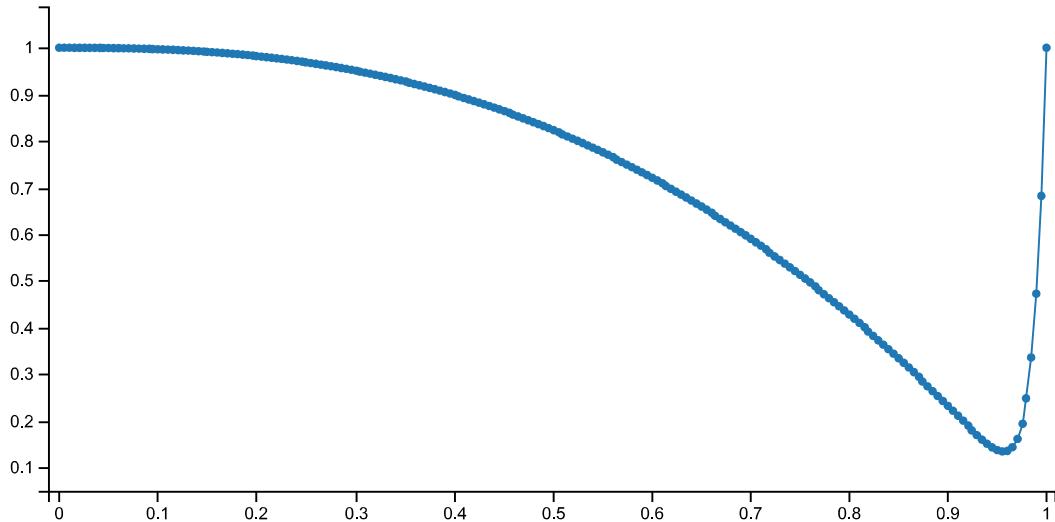


Рис.8.4.5 Зависимость коэффициента местного сопротивления от расходного газосодержания

Параметр ζ_0 задается пользователем либо рассчитывается по формуле для диафрагмы с острыми краями в прямой трубе

$$\zeta_0 = \left[\left(1 - \frac{F_0}{F_1} \right) + 0.707 \cdot \left(1 - \frac{F_0}{F_1} \right)^{0.375} \right]^2 \left(\frac{F_1}{F_0} \right)^2$$

где F_0 – площадь сечения трубы, F_1 – площадь сечения диафрагмы.

Критический расчет

Для определения критического расхода выполняется следующая последовательность расчета

$$\beta = \frac{1}{1 + \frac{1-x}{x} \cdot \frac{\rho_{vap}}{\rho_{liq}}}$$

$$n = \frac{(1-x) \cdot C_V^{liq} + x \cdot C_P^{vap}}{(1-x) \cdot C_V^{liq} + x \cdot C_V^{vap}}$$

$$a_{crit} = \sqrt{\frac{n \cdot P_1}{\rho \beta}}$$

$$w_{ch} = \rho \cdot F_0 \cdot a_{crit}$$

где w_{ch} – критический расход, ρ – плотность смеси, a_{crit} – критическая скорость, C_V^{liq} – удельная теплоемкость при постоянном объеме жидкой фазы, C_P^{vap} – удельная теплоемкость при постоянном давлении газовой фазы, C_V^{vap} – удельная теплоемкость при постоянном объеме газовой фазы, ρ_{vap} – плотность газовой фазы, ρ_{liq} – плотность жидкой фазы, x – массовое газосодержание.

Диалог задания дросселя представлен на рис.8.4.6.

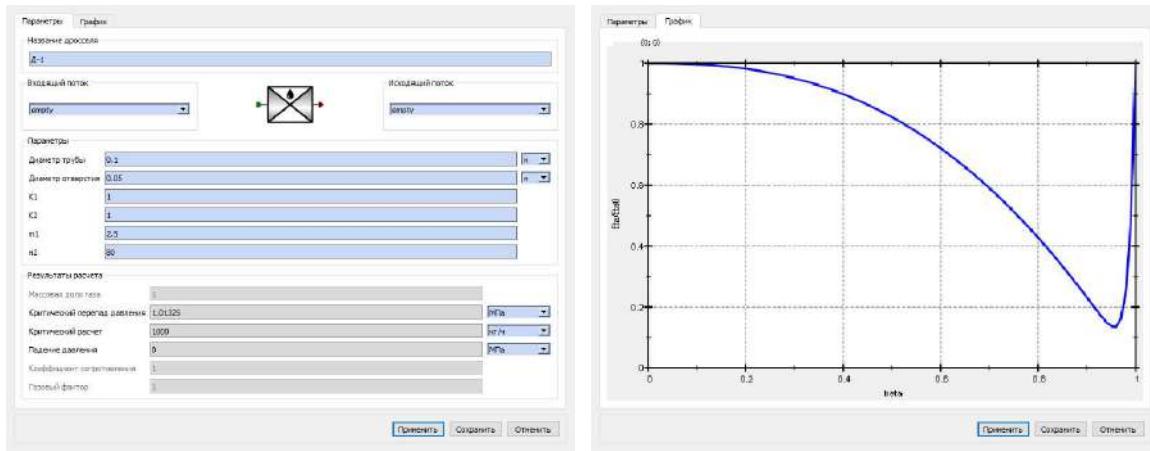


Рис.8.4.6 Диалог задания дросселя

8.5. Месторождение



Инструмент : скважина+насос+пласт; панель инструментов : создание оборудования для гидравлических схем

Элемент месторождение представляет собой комбинацию из трех элементов: пласта, погружного насоса и скважины. Элементы данного типа имеют вход для задания пластового потока и выход для устьевого потока. Отдельные подэлементы и потоки между пластом и насосом, а также между насосом и скважиной, доступны для задания параметров или просмотра свойств. Для вызова диалогов подэлементов следует нажать дважды на элементе месторождение и выбрать во всплывающем меню соответствующий подэлемент (рис.8.5.7).

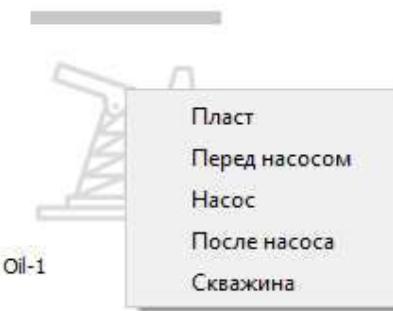


Рис.8.5.7 Вызов диалогов подэлементов месторождения

8.6. Скважина



Инструмент : скважина; панель инструментов : создание оборудования для гидравлических схем

Элемент скважина моделируется трубопроводом постоянного сечения, для которого задается длина и глубина погружения (рис.8.6.8). В отличие от элемента трубопровода, дополнительно рассчитывается гидростатическое падение давления. Опции расчета разных типов течения, а также тепловой расчет в текущей версии отключены. Для расчета с учетом этих факторов рекомендуется использовать элемент типа трубопровод гидравлический.

Элемент типа "скважина" не содержит гидравлических переменных и уравнений.

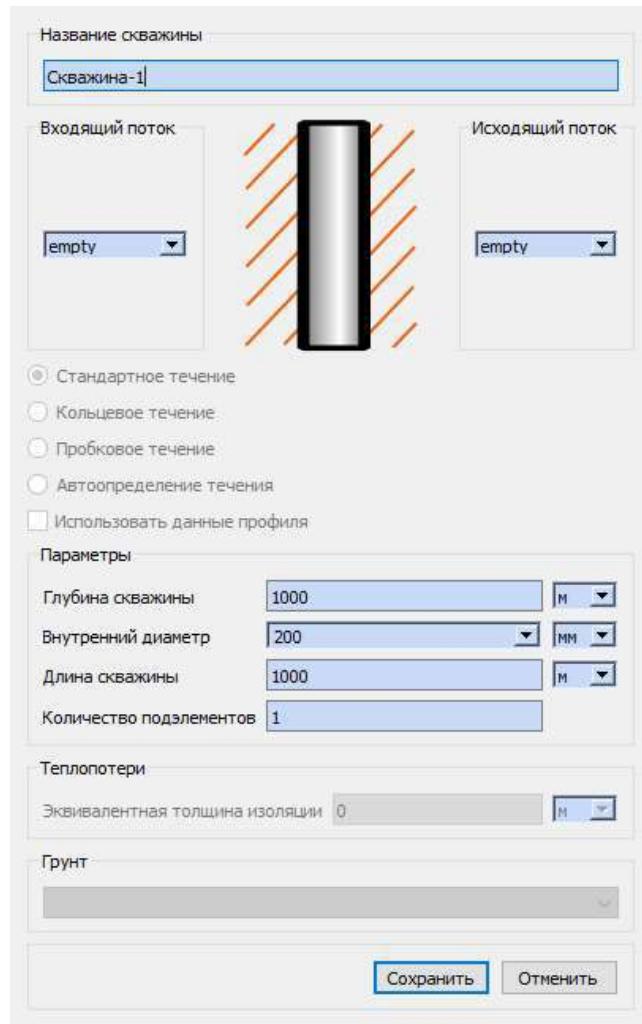


Рис.8.6.8 Диалог задания скважины

8.7. Потребитель



Инструмент : потребитель; панель инструментов : создание оборудования для гидравлических схем

Элемент типа потребитель моделирует конечную точку гидравлической схемы,

в которой известно давление. Для задания характеристики сети расход/давление следует использовать комбинацию элементов "приращение давления" и "потребитель". В одной модели может присутствовать несколько потребителей. С точки зрения гидравлического решателя потребитель представляет собой одно уравнение вида

$$P - P^* = Err_k$$

где k – номер уравнения , Err_k – невязка уравнения, P – давление во входящем потоке потребителя, P^* – фиксированное значение давления.

Для простой схемы с одним насосом и одним потребителем (рис.8.7.9) решение находится на пересечении напорных характеристик сети потребителя P^* и насоса P_{pump} (рис.8.7.10).

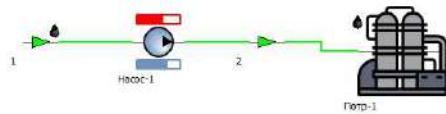


Рис.8.7.9 Расчетная схема с насосом и потребителем

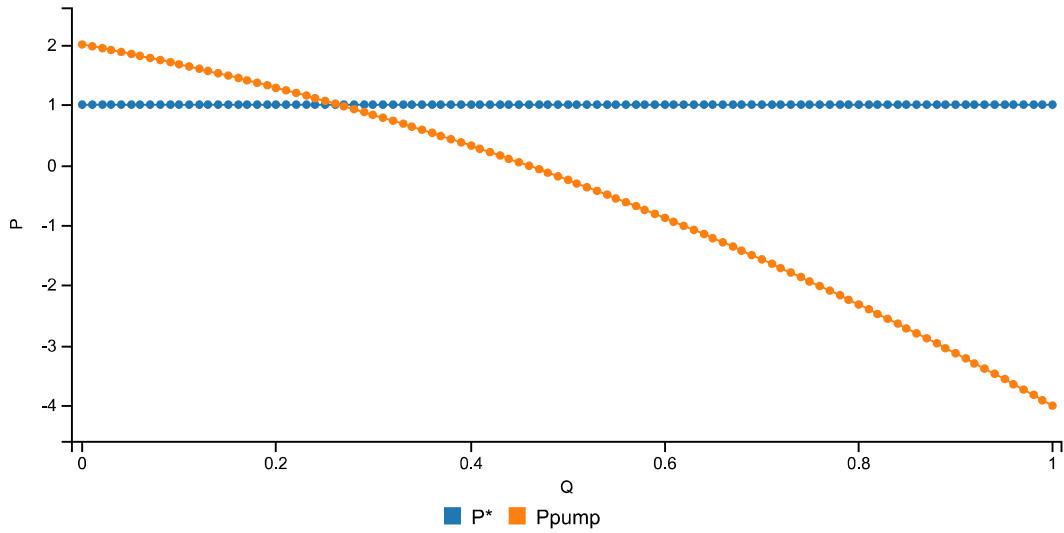


Рис.8.7.10 Определение расхода по напорным характеристикам

Для каждого потребителя задается допустимая погрешность по давлению, которая по умолчанию принимается равной 0.01 атм. По умолчанию используется полное давление, для фиксации статического давления следует активировать соответствующий флаг и указать внутренний диаметр трубопровода. Диалог задания потребителя приведен в приложении на рис.8.7.11.

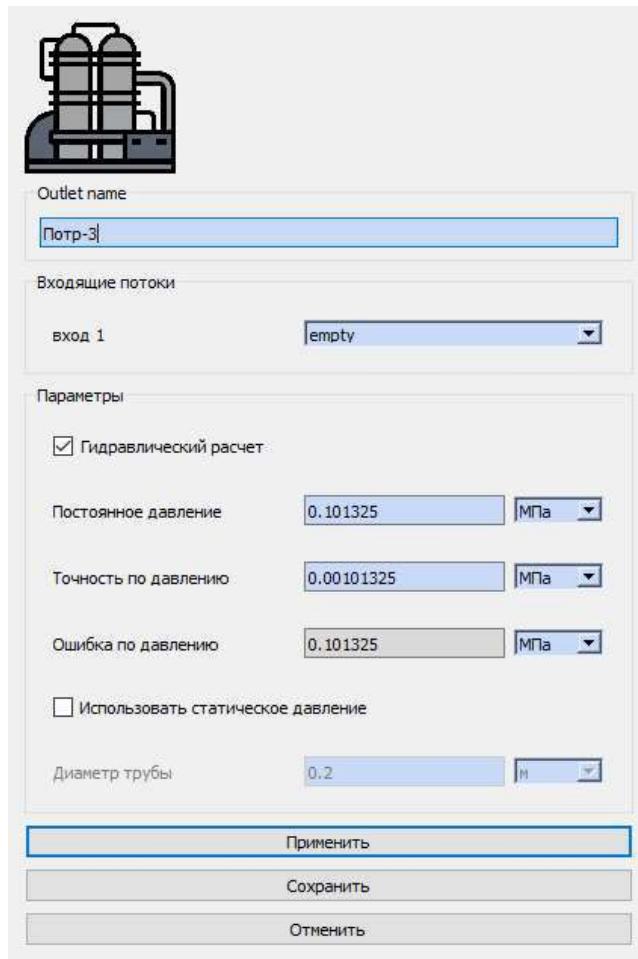


Рис.8.7.11 Диалог задания потребителя

8.8. Клапан регулирующий (гидравлический)



Инструмент : клапан гидр.; панель инструментов : создание оборудования для гидравлических схем

Элемент типа "регулирующий клапан" реализован на основе формул процедуры обмеривания клапанов производства VALTEK [8]. Другие

производители запорной арматуры предоставляют аналогичные методики подбора и расчета клапанов.

Различают два режима работы регулирующего клапана – докритический и сверхкритический (рис.8.8.12). По мере снижения давления на выходе из клапана и соответствующего роста перепада давления расход увеличивается. Однако после некоторой величины перепада давления происходит запирание – расход перестает изменяться при дальнейшем увеличении перепада давления. Это происходит при достижении скорости звука в любом сечении клапана. На графике Q – объемный расход, ΔP – перепад давления, ρ – плотность.

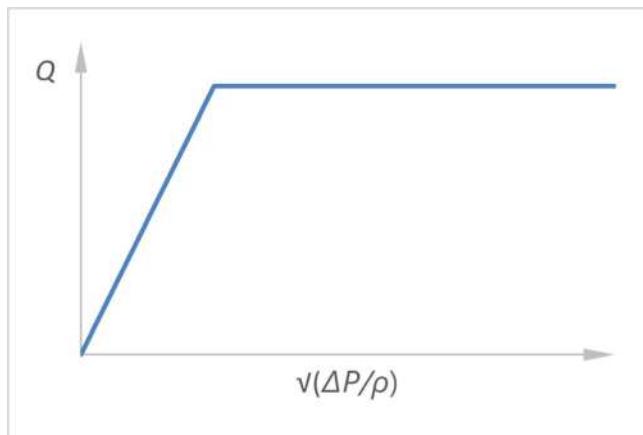


Рис.8.8.12 Докритический и сверхкритический режимы работы клапана

Работа клапана на докритическом режиме характеризуется коэффициентом пропускной способности C_V , на рисунке ему соответствует тангенс угла наклона первого участка зависимости. Данная величина для клапана в положении максимального открытия называется номинальной пропускной способностью $C_{V\text{rated}}$ и приводится в спецификации клапана. Зависимость пропускной способности от степени открытия (положения регулирующего органа) h называется пропускной характеристикой. Три основных типа пропускных характеристик приведены на рис.8.8.13, в программе они реализованы по следующим зависимостям:

линейная

$$C_V = \frac{h}{100\%} \cdot C_V^{rated}$$

равнопроцентная

$$C_V = \left(\frac{h}{100\%} \right)^3 \cdot C_V^{rated}$$

быстрого открытия

$$C_V = \sqrt{\frac{h}{100\%}} \cdot C_V^{rated}$$

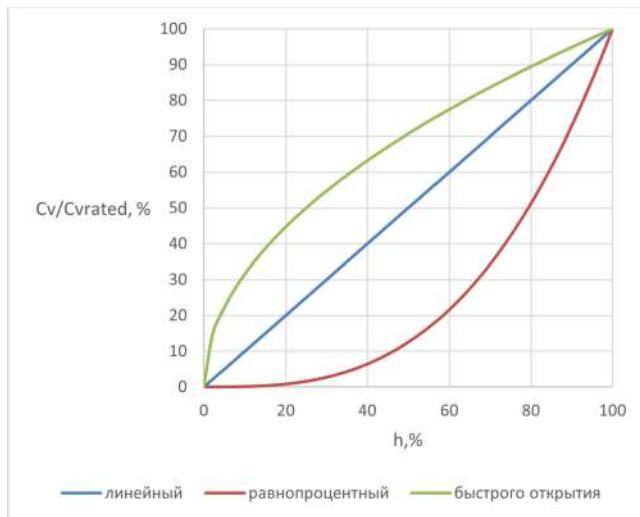


Рис.8.8.13 Пропускные характеристики

Для простоты изложения случаи течения чистой жидкости и чистого газа рассматриваются отдельно, а затем формулы обобщаются для течения двухфазного флюида.

Клапан действует на поток как ограничение, вызывающее падение давления. Упрощенный вид профиля давления для жидкости показан на рис.8.8.14, где P_1 и P_2 – входное и выходное давления, ΔP – падение давления, P_{min} –

минимальное давление в зоне максимального сужения потока, P_V – давление насыщения при температуре входного потока. Если давление насыщения выше минимального, но ниже выходного, возникает явление кавитации – образование и схлопывание пузырьков газа. Данный процесс нежелателен вследствие вибрации, шума и повышенного износа деталей клапана. Если же давление насыщения выше выходного, то пузырьки газа остаются в потоке и на выходе имеется двухфазный поток.

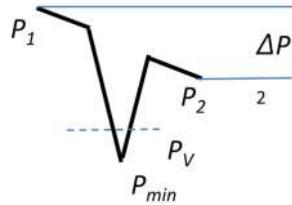


Рис.8.8.14 Профиль давления флюида при прохождении через клапан

На докритическом режиме зависимость расхода от перепада давления имеет вид

$$Q = NF_P C_V \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho_1}}$$

где ρ_1 – плотность входного потока, N – константа, зависящая от системы единиц величин в уравнении, F_P – геометрический фактор, учитывающий сопротивление подводящего и отводящего каналов.

Критический перепад давления для жидкости находится как

$$\Delta P_{ch} = F_L^2 \cdot (P_1 - F_F P_V)$$

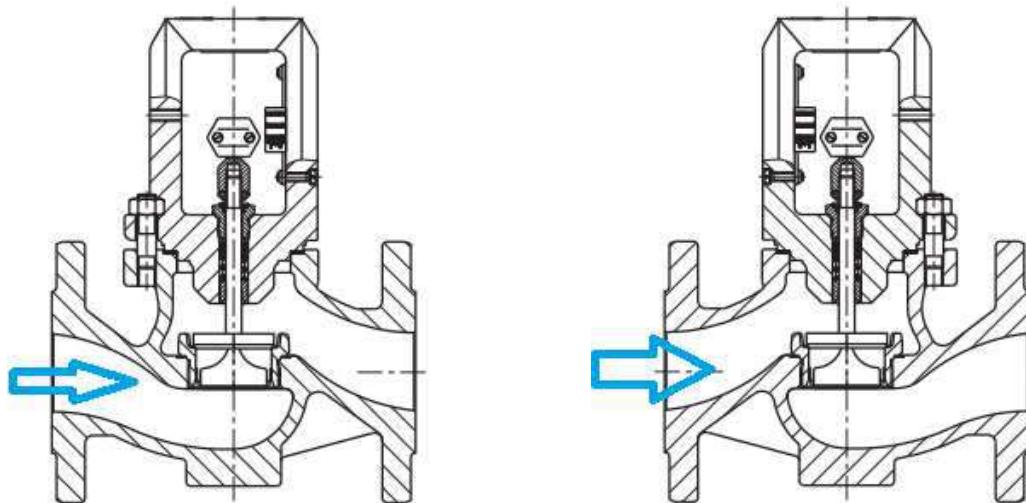
где ΔP_{ch} – критический перепад давления, F_L – коэффициент давления жидкости, F_F – коэффициент отношения критического давления жидкости, P_V – давление насыщения при температуре входного потока.

Коэффициент отношения критического давления жидкости F_F находится по формуле

$$F_F = 0.96 - 0.28 \sqrt{\frac{P_V}{P_C}}$$

где P_C – критическое давление жидкости, P_V – давление насыщения.

Коэффициент восстановления давления жидкости F_L зависит от типа клапана, способа установки и степени открытия. В частности, для шарового вентиля производителя Valtec для двух типов установки (рис.8.8.15) он имеет вид, представленный на рис.8.8.16.



а) на открытие – Flow to open (FTO)

б) на закрытие – Flow to close (FTC)

Рис.8.8.15 Типы установки клапана

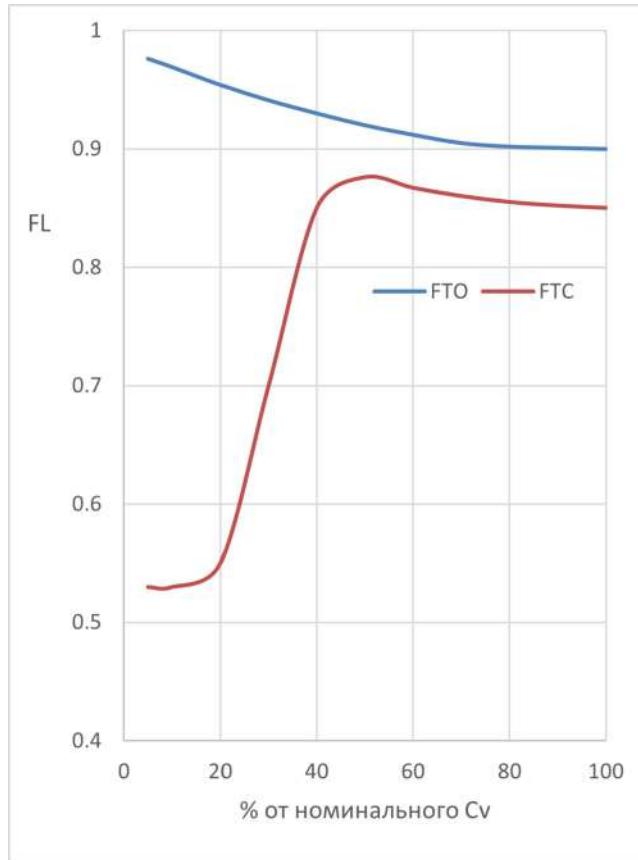


Рис.8.8.16 Зависимость FL

Перепад давления, при котором возникает кавитация, определяется выражением:

$$\Delta P_{cav} = F_i^2 (P_1 - P_V)$$

где F_i – коэффициент кавитации, также, как и F_L зависит от типа клапана, способа установки и степени открытия. Рекомендуемые характеристики для шаровых вентилей Valtek приведены на рис.8.8.17.

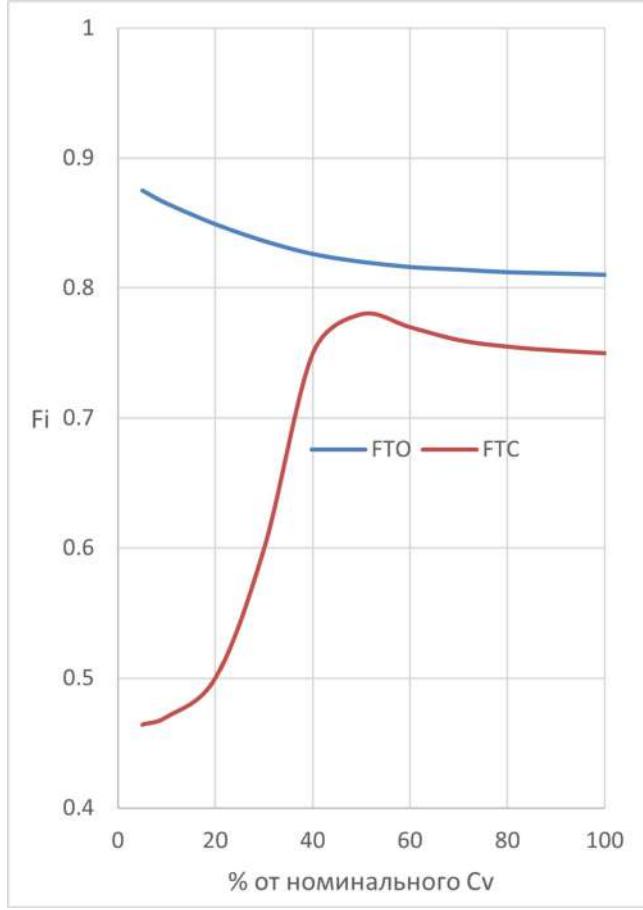


Рис.8.8.17 Зависимость Fi

Для газового входного потока формула для расхода имеет вид

$$w_1 = NF_P C_V Y \sqrt{x P_1 \rho_1}$$

где w_1 – массовый расход, $Y = 1 - \frac{x}{F_K x_T}$ – коэффициент расширения, $x = \frac{\Delta P}{P_1}$ – относительное падение давления, $F_K = \frac{k}{1.4}$ – поправка показателя адиабаты, k – показатель адиабаты входного потока, x_T – предельное относительное падение давления.

Учитывая зависимость коэффициента от перепада давления, для расчета

выходного давления при известном расходе требуется решение кубического уравнения.

Критическое падение давления вычисляется по формуле:

$$\Delta P_{ch} = F_K x_T P_1$$

Предельное относительное падение давления x_T является функцией типа клапана, аналогично рассмотренному ранее величины F_L .

Расчет, реализованный в элементе регулирующего клапана для двухфазного потока, является комбинацией двух описанных ранее частных случаев для чистой жидкости и чистого газа. Скорости фаз при прохождении клапана считаются одинаковыми. При трехфазном флюиде во входном потоке, водная и нефтяная фаза рассматриваются как одна общая фаза.

Основное уравнение, связывающее перепад давления и расход, имеет вид

$$C_V F_p = \frac{w_g + w_l}{N} \sqrt{\frac{v_e}{\Delta P_w}}$$

где ΔP_w – определяемый из данного уравнения перепад давления, w_g – массовый расход газа, w_l – массовый расход жидкости, $v_e = \frac{f_g}{Y^2 \rho_g} + \frac{f_l}{\rho_l}$, $Y = 1 - \frac{\Delta P_w}{F_K \cdot x_T \cdot P_1}$, $f_g = \frac{w_g}{w_g + w_l}$ – массовая доля газа, $f_l = \frac{w_l}{w_g + w_l}$ – массовая доля жидкости, ρ_l – плотность жидкости, ρ_g – плотность газа.

Аналогично рассмотренному ранее случаю газа, для определения выходного давления требуется решить кубической уравнение. Выбирается наименьший положительный корень. При наличии во входящем потоке газовой фазы в качестве критического перепада давления берется величина критического перепада для газа.

Регулирующий клапан создает в гидравлическом решателе одну степень свободы и одно уравнение. Степенью свободы является дополнительный перепад давления. В случае запирания клапана его выходное давление не определяется математической моделью самого клапана, а зависит от сети за клапаном и граничных условий этой сети. Выходное давление клапана таким образом находится по формуле

$$P_2 = P_1 - \Delta P_{calc} - \Delta P_{dof}$$

где ΔP_{calc} – рассчитанное давление, равное ΔP_{ch} при запирании и ΔP_w при его отсутствии ΔP_{dof} – степень свободы клапана.

Уравнение при докритическом режиме имеет вид

$$\Delta P_{dof} = Err_k,$$

при сверхкритическом режиме

$$w_1 - w_{ch} = Err_k.$$

Здесь Err_k – невязка k -го уравнения, w_{ch} – критический массовый расход, w_1 – текущий массовый расход. Критерием переключения между режимами является величина

$$\Delta P_w + \Delta P_{dof} - \Delta P_{ch}$$

При отрицательном значении данной величины режим запирания отключается, при положительном значении – включается.

Коэффициенты F_L , F_i и x_T задаются пользователем в виде таблиц для разных уровней открытия клапана.

Диалог регулирующего клапана имеет три вкладки – общие параметры, таблица задания характеристик, график отображения характеристик (рис.8.8.18 и рис.8.8.19).

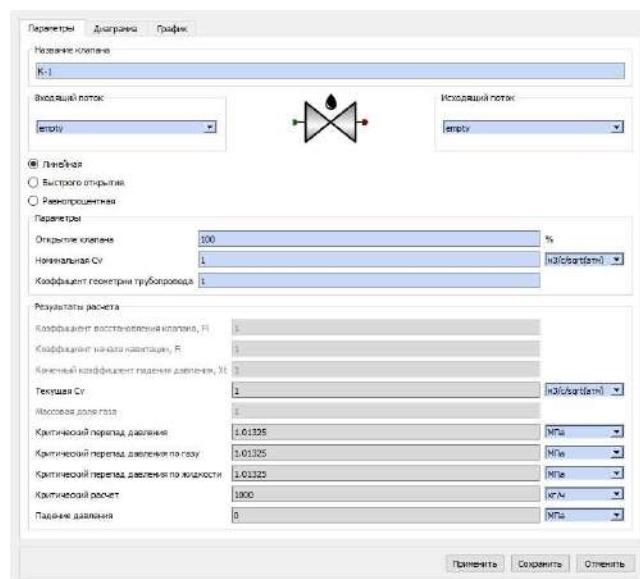


Рис.8.8.18 Диалог задания клапана гидравлического

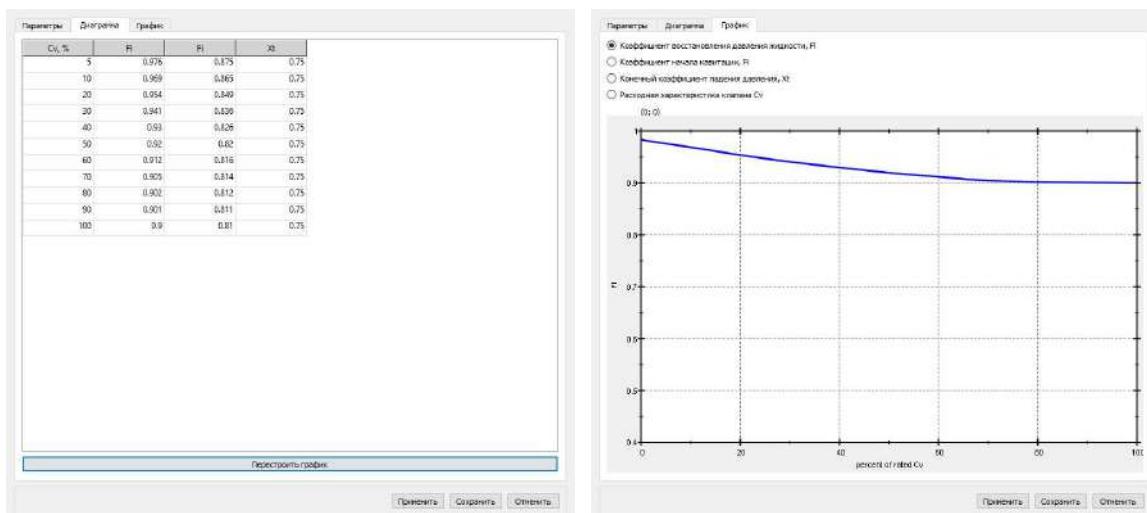


Рис.8.8.19 Задание характеристики клапана

8.9. Трубопровод гидравлический



Инструмент : труба гидр.; панель инструментов : создание оборудования для гидравлических схем

Элемент типа «трубопровод» моделирует течение однофазного или двухфазного флюида в трубе постоянного течения. При наличии водной фазы нефтяная и водная фаза объединяются в одну условную жидкую фазу. Помимо расчета падения давления, производится расчет выходной температуры с учетом теплообмена с внешней средой (воздух, вода или грунт) и наличия изоляции. Также элемент типа «трубопровод» используется для моделирования местных сопротивлений вроде отводов, тройников и т.д.

Один элемент соответствует участку трубопровода с постоянным уклоном, типоразмером трубы, параметрами изоляции и внешней среды. В случае существенных изменений этих характеристик по длине трубопровода создается последовательность элементов. Помимо этого, при расчете одного элемента он разбивается на заданное количество сегментов для повышения точности расчета протяженных трубопроводов.

Общая схема расчета одного элемента (сегмента) приведена на рис.ис.8.9.20. Схема содержит два вложенных итерационных процесса – внутренний по давлению, внешний по температуре. Падение давления зависит от вязкости флюида, которая в свою очередь, зависит от температуры и давления. Для начала итераций по внутреннему и внешнему циклам делаются оценки выходного давления и температуры соответственно. На их основе вычисляются средние температуры и давления сегмента. Средние температура и давление используются при расчете фазового равновесия и определения свойств флюида. Далее происходит расчет падения давления и получение новой оценки по выходному давлению. Если изменение величины выходного давления не превышает допустимой точности, то внутренний итерационный процесс считается сошедшимся и производится расчет теплообмена с определением нового значения выходной температуры. Иначе производится

еще одна итерация по давлению. Аналогично, внешний итерационный процесс считается сошедшимся при условии, что изменение выходной температуры менее допустимой погрешности.

Выходные давление и температура сегмента являются начальными данными для следующего сегмента. В случае, если при текущем расходе выходное давление падает ниже 0 атм, элемент генерирует ошибку. Это служит сигналом для гидравлического решателя снизить расход в данной ветке.

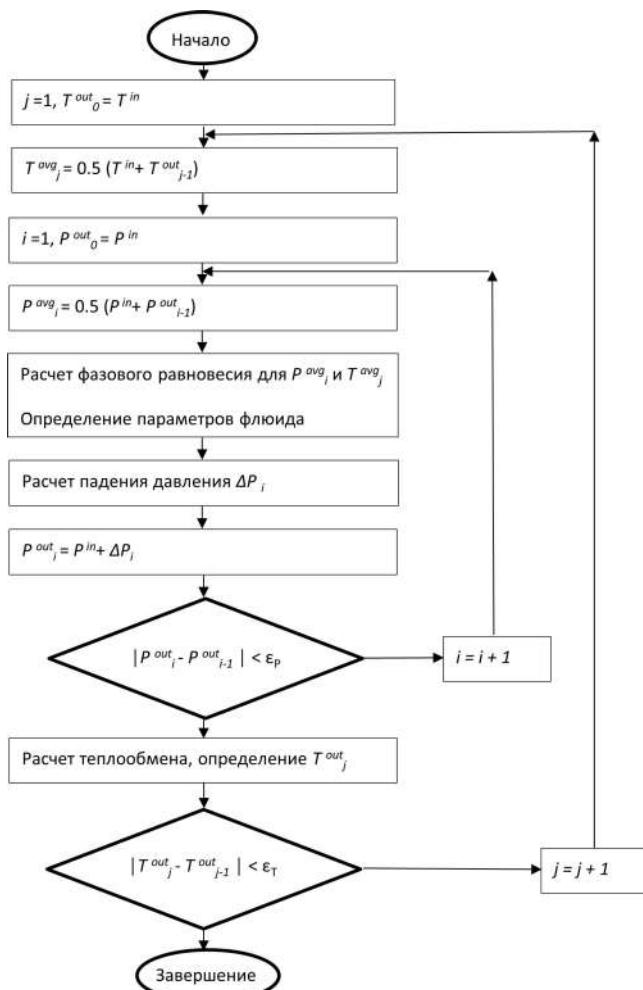


Рис.8.9.20 Блок схема расчета элемента «трубопровод»

Расчет падения давления с учетом типа течения двухфазного флюида осуществляется по методике Беггза и Брилла [9].

Для однофазного флюида режим течения - турбулентный или ламинарный - определяется по числу Рейнольдса

$$N_{Re} = \frac{\rho v}{D\mu}$$

где ρ – плотность, v – скорость, D – внутренний диаметр, μ – динамическая вязкость. При превышении 3250 течение считается турбулентным, иначе – ламинарным. Флюид, где присутствуют только жидкие фазы – углеводородная и водная, – также считается однофазным с точки зрения течения в трубопроводе.

Для ламинарного течения коэффициент трения равен

$$f = \frac{64}{N_{Re}}$$

для турбулентного определяется как решение уравнения Коулброка-Уайта [10]

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{N_{Re}\sqrt{f}} \right)$$

где ε – шероховатость стенки трубы.

Падение давления определяется по формуле

$$\Delta P = \frac{f L \rho v^2}{2D} + \rho g \Delta h$$

где L – длина трубопровода, g – ускорение свободного падения, Δh – перепад высот между конечной и начальной точками трубопровода.

Для двухфазного флюида определяется число Фруда и параметры горизонтального течения

$$N_{Fr} = \frac{v_M^2}{gD}$$

$$\begin{aligned}
 v_M &= \frac{Q}{A} \\
 \lambda_L &= \frac{Q_L}{v_M A} \\
 L_1 &= 316 \lambda_L^{0.302} \\
 L_2 &= 0.009252 \lambda_L^{-2.4684} \\
 L_3 &= 0.1 \lambda_L^{-1.4516} \\
 L_4 &= 0.5 \lambda_L^{-6.738}
 \end{aligned}$$

где v_M – скорость смеси, Q – объемный расход, Q_L – суммарный объемный расход нефтяной и водной фаз, A – площадь внутреннего сечения трубы.

Тип течения определяется по следующим условиям

Раздельный (segregated)

$$N_{Fr} < L_1 \text{ при } \lambda_L < 0.01,$$

$$N_{Fr} < L_2 \text{ при } \lambda_L \geq 0.01,$$

Переходный (transition)

$$L_2 \leq N_{Fr} \leq L_3 \text{ при } \lambda_L \geq 0.01,$$

Прерывистый (intermittent)

$$L_3 < N_{Fr} \leq L_1 \text{ при } 0.01 \leq \lambda_L < 0.4,$$

$$L_3 < N_{Fr} \leq L_4 \text{ при } \lambda_L \geq 0.4,$$

Распределенный (distributed)

$N_{Fr} \geq L_1$ при $\lambda_L < 0.4$,

$N_{Fr} > L_4$ при $\lambda_L \geq 0.4$.

В координатах $\lambda_L - N_{Fr}$ разделение режимов показано на рис. 8.9.21 в логарифмической и нормальных шкалах.

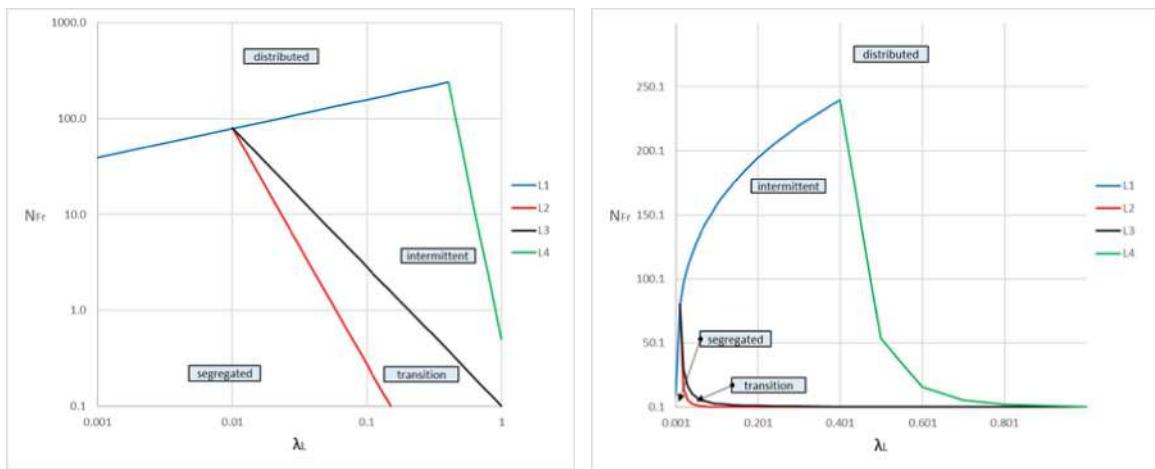


Рис. 8.9.21 Диаграмма режимов течения

Коэффициент объемного содержания жидкости для горизонтального трубопровода определяется как

$$H_L(0) = \frac{k_1 \lambda_L^{k_2}}{N_{Fr}^{k_3}}$$

коэффициенты k_1 , k_2 и k_3 зависят от типа течения, само значение $H_L(0)$ не должно быть менее λ_L . При переходном режиме производится интерполяция

$$H_L(0) = A \cdot H_L(0)_{segregated} + (1 - A) \cdot H_L(0)_{intermittent}$$

где $A = \frac{L_3 - N_{Fr}}{L_3 - L_2}$.

Коэффициенты для определения объемного содержания			
Тип течения	k_1	k_2	k_3
Раздельный	0.98	0.4846	0.0868
Прерывистый	0.845	0.5351	0.0173
Распределенный	1.065	0.5824	0.0609

Коэффициент объемного содержания для наклонного трубопровода выражается через коэффициент для горизонтального случая по формуле

$$H_L(\theta) = H_L(0) \cdot \psi$$

Здесь θ – угол наклона трубопровода, положительный для восходящего трубопровода, для величины ψ требуется провести следующие вычисления

$$\begin{aligned}\psi &= 1 + \alpha \cdot [\sin(1.8\theta) - 0.3333\sin^3(1.8\theta)] \\ \alpha &= (1 - \lambda_L) \cdot \ln(k_4 \lambda_L^{k_5} N_{LV}^{k_6} N_{Fr}^{k_7}) \\ N_{LV} &= v_{SL} \left(\frac{\rho_L}{g\sigma} \right)^{0.25} \\ v_{SL} &= \frac{Q_w + Q_o}{A} \\ \rho_L &= \rho_o f_o + \rho_w f_w \\ f_o &= \frac{Q_o}{Q_o + Q_w} = 1 - f_w \\ \sigma &= \sigma_o f_o + \sigma_w f_w\end{aligned}$$

где σ_o и σ_w – поверхностное натяжение, Q_o и Q_w – объемные расходы, ρ_o и ρ_w – плотности для нефтяной и водной жидкой фазы соответственно.

Коэффициенты для расчета поправки наклонного трубопровода					
Тип течения		k_4	k_5	k_6	k_7
Раздельный	Восходящий	0.011	-3.768	3.539	-1.614
Прерывистый	Восходящий	2.96	0.305	-0.4473	0.0978
Распределенный	Восходящий	1	0	0	0
все	Нисходящий	4.7	-3.692	0.1244	-0.5056

Градиент давления по длине трубопровода состоит из трех частей

$$[\frac{\Delta P}{\Delta L}]_{total} = [\frac{\Delta P}{\Delta L}]_{elev} + [\frac{\Delta P}{\Delta L}]_{fric} + [\frac{\Delta P}{\Delta L}]_{acc}$$

Здесь индекс total соответствует суммарному перепаду, fric – падению давления из-за трения, elev – падению или росту давления из-за перепада высот начальной и конечной точек трубопровода, acc – падение давления вследствие

ускорения, что существенно только для флюидов с высоким газосодержанием. Учитывая зависимость последнего члена уравнения от суммарного перепада,

$$\left[\frac{\Delta P}{\Delta L} \right]_{acc} = \frac{\rho_S v_M v_{SG}}{P} \left[\frac{\Delta P}{\Delta L} \right]_{total}$$

$$\rho_S = \rho_g + H_L(\theta) (\rho_L - \rho_g)$$

где $v_{SG} = Q_g/A$, Q_g – объемный расход газовой фазы, P – начальное давление, ρ_g – плотность газовой фазы, формула суммарного падения давления принимает вид

$$\left[\frac{\Delta P}{\Delta L} \right]_{total} = \frac{\left[\frac{\Delta P}{\Delta L} \right]_{elev} + \left[\frac{\Delta P}{\Delta L} \right]_{fric}}{1 - \frac{\rho_S v_M v_{SG}}{P}}$$

Падение давления из-за перепада высот

$$\left[\frac{\Delta P}{\Delta L} \right]_{elev} = g \rho_S \sin \theta$$

Падение давления вследствие трения

$$\left[\frac{\Delta P}{\Delta L} \right]_{fric} = \frac{f_{tp} \rho_n v_M^2}{2D}$$

где $\rho_n = \lambda_L \rho_L + (1 - \lambda_L) \rho_g$, а для определения коэффициента трения f_{tp} выполняются следующие вычисления

$$Y = \frac{\lambda_L}{H_L(\theta)^2}$$

$$\beta = \frac{\ln(Y)}{-0.0523 + 3.182 \ln(Y) - 0.8725 \ln(Y)^2 + 0.01853 \ln(Y)^4}, Y > 1.2,$$

$$\beta = \ln(2.2Y - 1.2), 1 \leq Y \leq 1.2,$$

$$\mu_L = \mu_o f_o + \mu_w f_w$$

$$N_{Re,n} = \frac{(\rho_L \lambda_L + \rho_g (1 - \lambda_L)) v_M D}{\mu_L \lambda_L + \mu_g (1 - \lambda_L)}$$

$$\frac{1}{\sqrt{f_n}} = -2 \log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{N_{Re,n} \sqrt{f_n}} \right)$$

$$f_{tp} = f_n \cdot \exp(\beta)$$

где μ_g , μ_o μ_w - динамические вязкости газовой, нефтяной и водной фаз. Для определения f_n решается нелинейное уравнение.

Теплообмен с окружающей средой характеризуется теплотой, переданной от флюида в окружающую среду – ΔQ . Эта величина может быть задана пользователем напрямую, с нулевым значением для отключения теплообмена. Иначе она считается по формуле

$$\Delta Q = \frac{T^{out} - T^{in}}{\ln \frac{T^{ext} - T^{in}}{T^{ext} - T^{out}}} \cdot F \cdot U$$

где F – площадь поверхности теплообмена по внутреннему диаметру трубы, U – суммарный коэффициент теплопередачи, T^{ext} – температура среды.

Суммарный коэффициент теплопередачи включает в себя коэффициенты теплопередачи между флюидом и стенкой трубы h_{flow} , стенки трубы h_{wall} , изоляции при ее наличии h_{isol} , между трубой или изоляцией и внешней средой h_{env} :

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{flow}} + \frac{1}{h_{wall}} + \frac{D}{h_{isol}D_{ext}} + \frac{D}{h_{env}D_{isol}}$$

Здесь D – внутренний диаметр трубы, D_{ext} – внешний диаметр трубы, D_{isol} – внешний диаметр изоляции.

Коэффициент теплопередачи между флюидом и трубой считается по корреляции Петухова

$$h_{flow} = \frac{\lambda}{D} \cdot \frac{f}{8} \cdot \frac{N_{Re} N_{Pr}}{1.07 + 12.7 \sqrt{f/8} \cdot (N_{Re}^{2/3} - 1)}$$

где N_{Re} – число Рейнольдса для флюида, $N_{Pr} = (C_p \mu) / \lambda$ – число Прандтля для флюида, λ – коэффициент теплопроводности флюида, C_p – теплоемкость флюида, μ – динамическая вязкость флюида, коэффициент трения, расчет которого описан выше.

Для коэффициентов теплопередачи стенки трубы и изоляции формулы имеют

вид

$$h_{wall} = \frac{\lambda_{wall}}{\ln\left(\frac{D_{ext}}{D}\right) D}$$

$$h_{isol} = \frac{\lambda_{isol}}{\ln\left(\frac{D_{isol}}{D_{ext}}\right) D_{ext}}$$

где λ_{wall} и λ_{isol} – коэффициенты теплопроводности стенки трубы и изоляции соответственно.

Коэффициент теплопередачи между изоляцией и внешней средой зависит от типа внешней среды. Для воздуха или воды данный коэффициент определяется по корреляции Холмана

$$h_{env} = \frac{\lambda_{env}}{D_{isol}} \cdot \frac{N_{Re}^{0.6} N_{Pr}^{0.38}}{4}$$

где λ_{env} – теплоемкость внешний среды, N_{Re} – число Рейнольдса для внешней среды, зависящее от скорости обтекания, N_{Pr} – число Прандтля для внешней среды. Необходимые для определения чисел Рейнольдса и Прандтля параметры внешней среды берутся из встроенных табличных данных для воздуха и воды. Для подземного трубопровода формула для расчета коэффициента теплопередачи рассчитывается по формуле Форхгеймера [11]

$$h_{env} = \frac{2 \cdot \lambda_{soil}}{D_{isol} \cdot \ln\left(\frac{2Z + \sqrt{4Z^2 - D_{isol}^2}}{D_{isol}}\right)}$$

где λ_{soil} – коэффициент теплопроводности грунта, Z – глубина заложения трубопровода.

Элемент типа трубопровод используется также для моделирования местных сопротивлений вроде отводов, тройников, обратных клапанов и т. п. В данном случае никаких гипотез о типе течения флюида не выдвигается, падение давления определяется по формуле

$$\Delta P = \xi \left(\frac{0.0101}{D^{0.2232}} \right)^m \frac{\rho v^2}{2}$$

где ς – коэффициент местного сопротивления, m – показатель степени, равный 0 или 1. Коэффициенты ς и m для некоторых встроенных типов сопротивлений приведены в табл..

Коэффициенты местного сопротивления		
Тип элемента	ς	m
Отвод 90 градусов	30	1
Отвод 45 градусов	16	1
Отвод 180 градусов	50	1
Угловой клапан	55	1
Шаровой вентиль	340	1
Задвижка	8	1
Шаровой кран	3	1
Поворотный обратный клапан	100	1
Шаровой обратный клапан	400	1
Тройник, прямой проход	20	1
Тройник, боковое ответвление	60	1

Диалог задания трубопровода представлен на рис.8.9.22. На вкладке коррекция давления (рис.8.9.23) пользователь может задать корректирующий множитель по давлению, который, как правило, определяется в процессе настройки расчетной схемы по имеющимся измерениям. На последней вкладке приводится информация расчета для всех подэлементов.

Общие параметры		Теплосбен		Коррекция давления		Результаты	
 Название трубы: ТБ-1							
Входящие потоки: вход 1: 1 Выходящие потоки: выход 1: 2							
Параметры:							
Длина:	10	м		Толщина изоляции:	0	м	
<input type="checkbox"/> Использовать угол				Глубина заложения трубопровода:	0	м	
Повышение:	0	м		Теплопроводность грунта:	1,1	Вт/(м ² K)	
Угол:	0			Скорость окружающей среды:	0	м/с	
Наружный диаметр:	200	мм		Температура окружающей среды:	0	°С	
Толщина стенки:	8	мм		Потеря энтропии:	0	м	
Шероховатость:	0.1	мм		Факторированный коэффициент теплообмена:	0	Вт/(м ² K)	
Количество подключений:	1			Теплопроводность стеки трубы:	17	Вт/(м ² K)	
Тип сегмента:	PIPE			Теплопроводность изоляции:	0,074	Вт/(м ² K)	
Тип расчета:	Метод 1						
<input type="button" value="Применить"/> <input type="button" value="Сохранить"/> <input type="button" value="Отменить"/>				<input type="button" value="Применить"/> <input type="button" value="Сохранить"/> <input type="button" value="Отменить"/>			

Рис.8.9.22 Диалог задания трубопровода

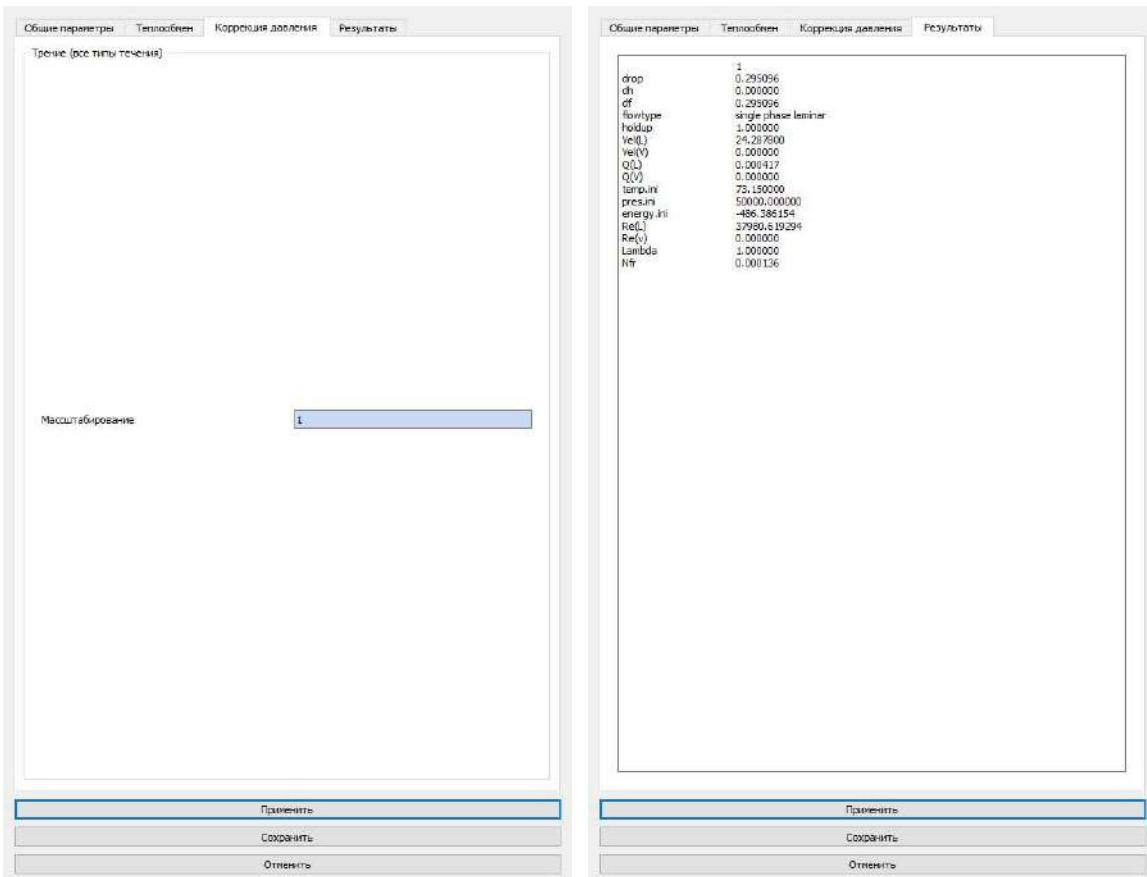


Рис.8.9.23 Диалог задания трубопровода

8.10. Скважинный насос



Инструмент : скважинный насос; панель инструментов : создание оборудования для гидравлических схем

Элемент типа «скважинный насос» моделирует погружной электроцентробежный насос. Агрегат состоит из электродвигателя с гидрозащитой, газосепаратора, центробежного насоса, а также обратного и сливного клапана. Центробежный насос собирается из однотипных секций, количество которых подбирается из потребного напора. Управление мощностью

насоса в процессе эксплуатации достигается изменением частоты вращения вала. Перепад давления на насосе определяется по формуле

$$\Delta P = m \cdot h(n, Q) \cdot \rho \cdot g$$

Здесь m – количество секций, n – частота вращения вала, Q – объемный расход, ρ – плотность флюида, g – ускорение свободного падения, $h(n, Q)$ – напорная характеристика одной секции.

Напорная характеристика секции берется из спецификации и имеет вид, представленный на рис.8.10.20. Кривыми Q_{min} Q_{max} ограничена рекомендуемая область эксплуатации. Напорная характеристика, как правило, указывается для воды при нормальной температуре. Вязкость перекачиваемой жидкости оказывает существенное влияние на напорную характеристику, потому характеристику следует адаптировать для перекачиваемой жидкости при забойных условиях. Простой пересчет возможен в самом элементе насоса посредством масштабирующих коэффициентов k_h и k_q :

$$h(n, Q) = k_h h_{water}(n, k_q Q)$$

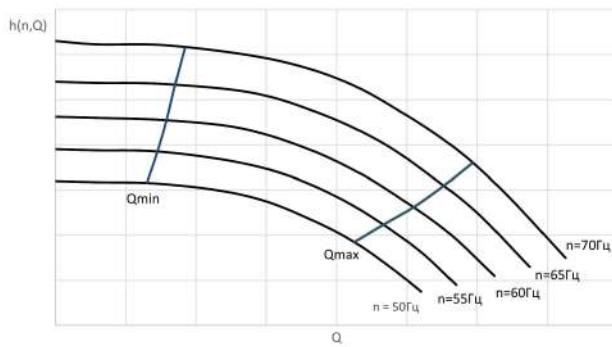


Рис.8.10.24 Напорная характеристика секции насоса

Потребляемая мощность рассчитывается согласно выражению:

$$N = m \cdot w(n, Q) \cdot \frac{\rho}{\rho_{water}}$$

где ρ_{water} – плотность воды, $w(n, Q)$ – мощностная характеристика одной

секции. Аналогично напорной характеристике, мощностная характеристика для воды (рис.8.10.25) доступна в спецификации оборудования и должна быть пересчитана на вязкость перекачиваемого флюида. Масштабирование возможно в самом элементе насоса:

$$w(n, Q) = k_w w_{water}(n, k_q Q)$$

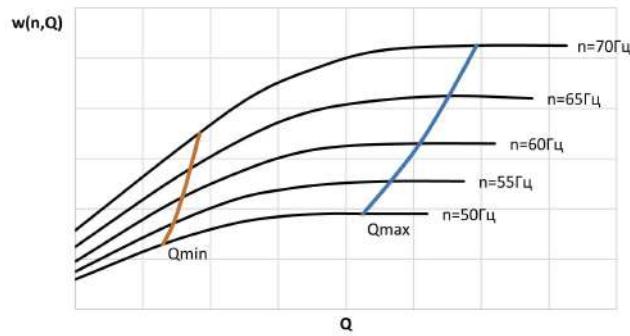


Рис.8.10.25 Мощностная характеристика секции насоса

Коэффициент полезного действия (КПД) насоса определяется как

$$\eta = \frac{Q \cdot \Delta P}{N}$$

и зависит как от оборотов, так и дебита насоса (рис.8.10.26). Разница потребляемой мощности и полезной $N - Q \cdot \Delta P$ выделяется в виде теплоты и передается флюиду.

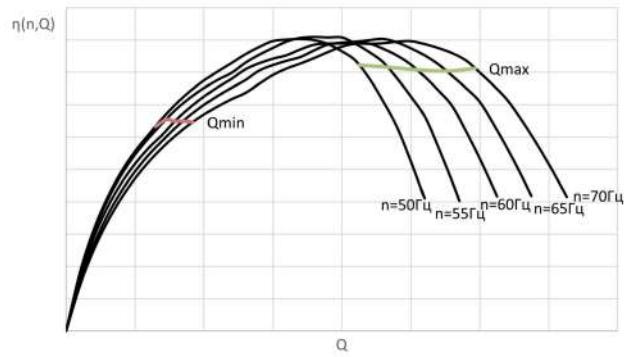


Рис.8.10.26 КПД секции насоса

Дополнительной информацией для элемента типа «насос» являются минимальный и максимальный дебиты для разных частот, определяющие рекомендуемый диапазон работы насоса с точки зрения его эффективности.

Диалог задания элемента типа «скважинный насос» приведен на рис.8.10.27-28.

Элементы типа скважинный насос не содержат гидравлических переменных и уравнений.

Общие параметры		Результаты		Диаграмма		График	
Общий поток <input type="text" value="обтир-1"/>							
Входящие потоки вход 1: <input type="text" value="empty"/>							
Исходящие потоки выход 1: <input type="text" value="empty"/>							
Параметры							
Тип насоса	<input type="text" value="RC2500"/>	Максимальная мощность	<input type="text" value="360000"/>	Напор	<input type="text" value="0"/>	Текущий расход	<input type="text" value="270"/>
Имя таблицы	<input type="text" value="римоБ"/>	Минимальный расход	<input type="text" value="0"/>	Доля нефти	<input type="text" value="60"/>	Текущий КПД	<input type="text" value="0"/>
Эксплуатационная частота, Гц	<input type="text" value="1"/>	Коэффициент сепарации	<input type="text" value="80"/>	%			
Количество секций	<input type="text" value="1"/>	Текущая частота	<input type="text" value="3600"/>	об/мин			
Коэффициент пересчета	<input type="text" value="1"/>	Номинальный расход	<input type="text" value="1000"/>	м ³ /сут			
Ном. частота	<input type="text" value="3600"/>	Ном. расход	<input type="text" value="1"/>	об/мин			
Максимальный КПД	<input type="text" value="68"/>	%					
Коэффициент пересчета по расходу	<input type="text" value="1"/>						
Коэффициент пересчета по степени скважины	<input type="text" value="1"/>						
Коэффициент пересчета по мощности	<input type="text" value="1"/>						
<input type="button" value="Применить"/> <input type="button" value="Сохранить"/> <input type="button" value="Отменить"/>							

Общие параметры		Результаты		Диаграмма		График	
Результаты расчета							
Текущая мощность	<input type="text" value="360000"/>	Единица измерения	<input type="text" value="кВт/ч"/>	Максимальная мощность	<input type="text" value="360000"/>	Единица измерения	<input type="text" value="кВт/ч"/>
Давление	<input type="text" value="0"/>	Единица измерения	<input type="text" value="атм"/>	Напор	<input type="text" value="0"/>	Единица измерения	<input type="text" value="м"/>
Текущий расход	<input type="text" value="270"/>	Единица измерения	<input type="text" value="м<sup>3</sup>/сут"/>	Максимальный расход	<input type="text" value="0"/>	Единица измерения	<input type="text" value="м<sup>3</sup>/сут"/>
Минимальный расход	<input type="text" value="0"/>	Единица измерения	<input type="text" value="м<sup>3</sup>/сут"/>	Доля нефти	<input type="text" value="60"/>	Единица измерения	<input type="text" value="%"/>
Текущий КПД	<input type="text" value="0"/>	Единица измерения	<input type="text" value="%"/>				
<input type="button" value="Применить"/> <input type="button" value="Сохранить"/> <input type="button" value="Отменить"/>							

Rис.8.10.27 Диалог задания скважинного насоса

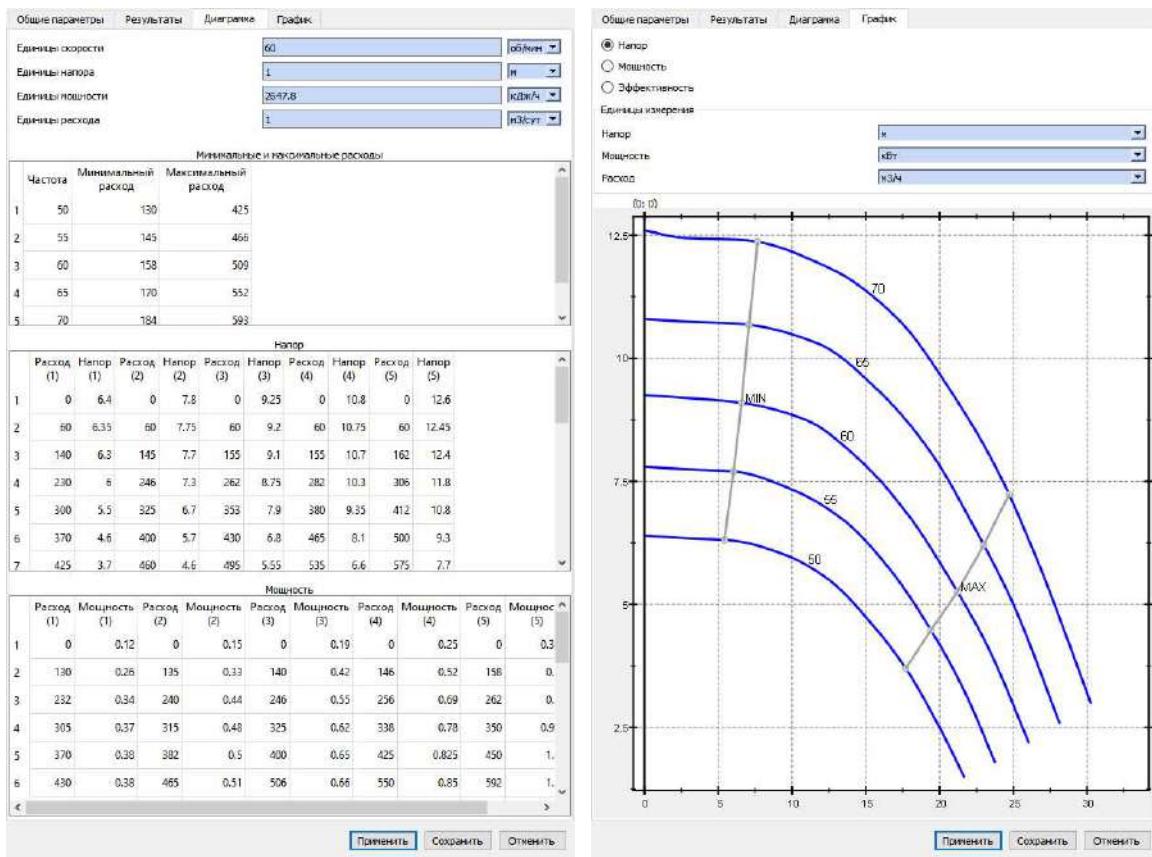


Рис.8.10.28 Диалог задания скважинного насоса

8.11. Пласт



Инструмент : пласт; панель инструментов : создание оборудования для гидравлических схем

Гидравлический элемент типа "пласт" служит для учета зависимости забойного давления от дебита скважины. Данный элемент индивидуален для каждой скважины, взаимовлияние скважин не учитывается. Пластовое давление задается на входном потоке элемента типа пласт, давление на выходе из элемента соответствует забойному давлению.

Реализовано два типа модели паста – с линейной зависимостью между дебитом и депрессией скважины (депрессия – разница пластового и забойного давлений) для нефтяных скважин и нелинейной зависимостью для газодобывающих скважин.

Линейная модель пласта для нефтяных скважин имеет вид

$$P_{заб} = P_{пп} - \frac{Q}{\eta}$$

где $P_{заб}$ – забойное давление, то есть давление на стенке скважины, $P_{пп}$ – пластовое давление, Q – дебит скважины, η – продуктивность скважины. Пластовое давление замеряется в остановленной скважине, его величина падает по мере эксплуатации, но в среднесрочном периоде его считают постоянным.

Для определения коэффициента продуктивности достаточно знать пластовое давление и забойное давление с соответствующим ему дебитом. Альтернативный подход задания коэффициента продуктивности заключается в расчете через уравнение Дюпюи для несовершенных скважин [12]:

$$\eta = \frac{kh}{\mu B} \cdot \frac{2\pi}{\ln\left(\frac{R_k}{r_c}\right) + S}$$

где k – проницаемость горной породы; h – эффективная толщина коллектора; μ – динамическая вязкость жидкости; B – коэффициент пересчета объема жидкости и поверхностных условий в пластовые; R_k – радиус контура питания; r_c – радиус скважины по долоту; S – скин фактор.

Для газовых скважин используется применение двучленный закон фильтрации газа Минского [13]

$$P_{пп}^2 - P_{заб}^2 = aQ + bQ^2$$

где a и b – фильтрационные коэффициенты, которые зависят от параметров

пласта получаемых из промысловых данных.

Диалог задания элемента типа "пласт" приведен на рис.8.11.29.

Элементы типа "пласт" не содержат гидравлических переменных и уравнений.

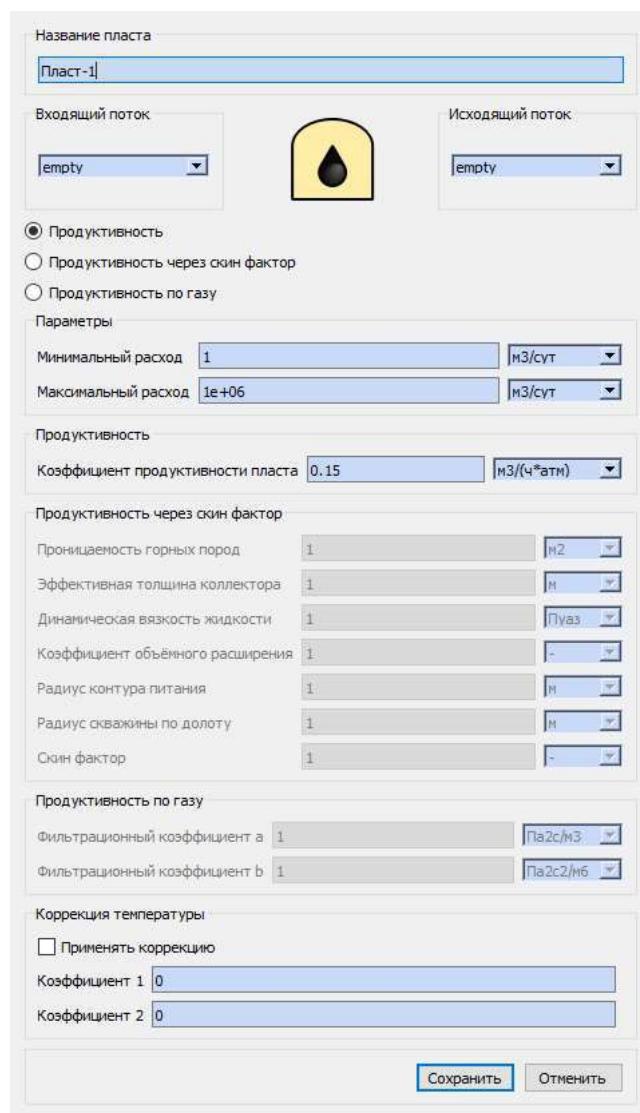


Рис.8.11.29 Диалог задания пласта

8.12. Приращение давления



Инструмент : приращение давления; панель инструментов : создание оборудования для гидравлических схем

Элемент типа "приращение давления" позволяет задавать нелинейную зависимость давления от расхода в виде формулы. Будучи установленным непосредственно вслед за источником с фиксированным давлением и расходом в качестве гидравлической переменной, данный элемент моделирует нелинейный источник. Если же его установить перед потребителем с фиксированным давлением, задается переменный потребитель, то есть потребитель, давление и расход в котором связаны некоторой зависимостью.

Приращение давления задается в виде математической формулы общего вида, в которой допускается использовать следующие переменные: \$p – входное давление в атмосферах, \$t – входная температура в Кельвинах, \$m – массовый расход в кг/ч, \$q – объемный расход в м3/ч, \$qn – стандартный объемный расход (приведенный к стандартным условиям) в м3/ч. Получаемое значение должно быть в атмосферах.

Для задания табличной функции используются переменный v1 и v2, в которых указывается список значений x у через запятую. В вычисляемом выражении указывается функция линейной интерполяции lin() со ссылкой на эту переменную. Например, имеется график зависимости падения давления от массового расхода с точками (x;y): (0;0), (1000;1), (2000;1.5) и (3000;1.75). Тогда поле переменной v1 должно содержать строку "0,0,1000,1,2000,1.5,3000,1.75", а вычислимое выражение "lin(\$m,\$v1)".

Диалог задания элемента типа "приращение давления" приведен на

рис.8.12.30.

Элементы типа "приращение давления" не содержат гидравлических переменных и уравнений.

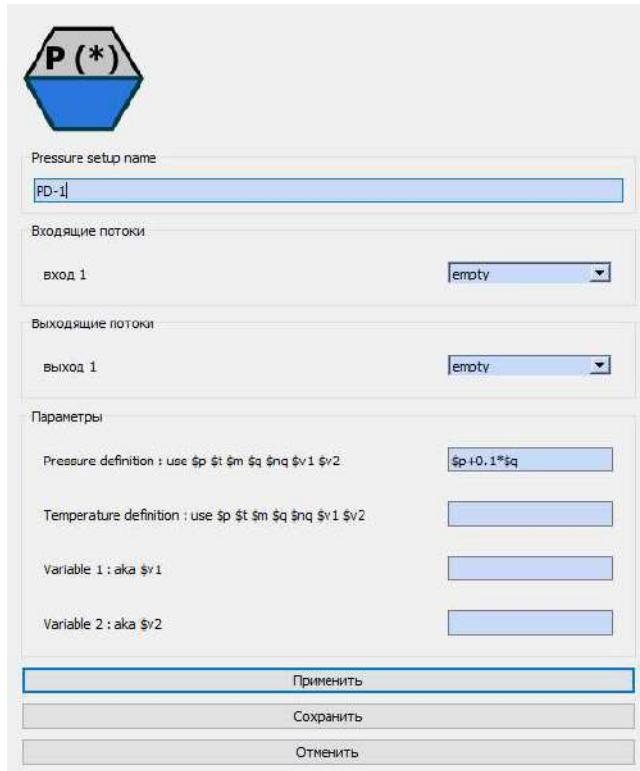


Рис.8.12.30 Диалог задания элемента приращение давления

9. Элементы для расчета колонн

9.1. Колонна



Инструмент : колонна; панель инструментов : создание сложного оборудования

Количество секций в колонне задается на главной вкладке диалога оборудования. Нумерация секций считается сверху. Обязательным является подача жидкости на первую секцию, и газа на последнюю (нижнюю) секцию. Допускается подача смеси на произвольную секцию со второй до предпоследней, номер которой задается под количеством секций (рис.9.1.1).

Имеется несколько вариантов задания профиля давления по колонне (рис.9.1.2) – постоянное по какому-либо входному потоку, постоянное с заданным значением, линейное по верхнему и нижнему входным потокам, линейное с заданными значениями.

Для нахождения решения в колонне используется метод InsideOut [14].

Результаты по секциям колонны доступны на третьей вкладке диалога оборудования (рис.9.1.3).

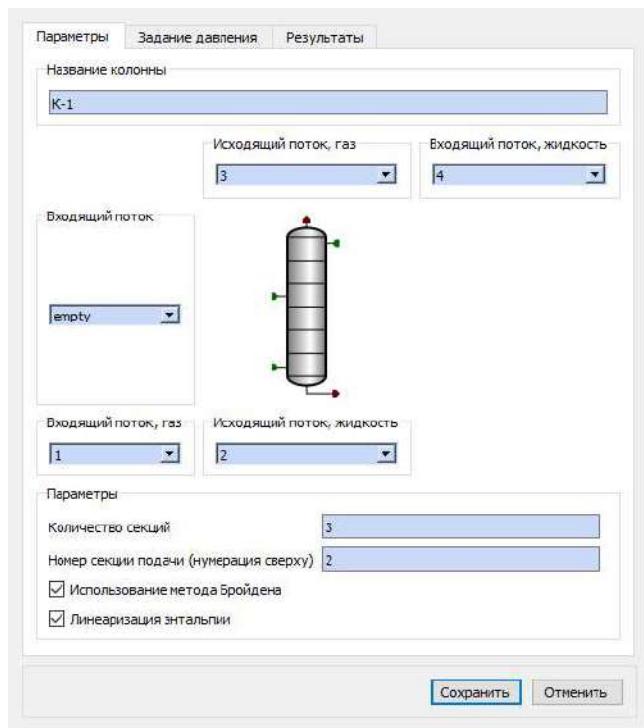


Рис.9.1.1 Колонна

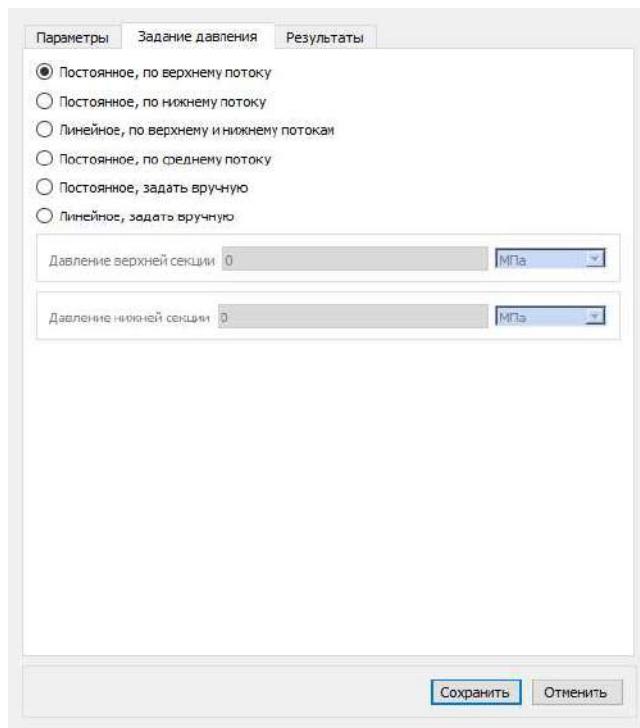


Рис.9.1.2 Колонна, задание давления

Номер секции		1	2	3
1	Температура	268.795	291.753	304.738
2	Давление	9.86923	9.86923	9.86923
3	Поток жидкости	4.07693e+06	4.28793e+06	3.40844e+06
4	Поток газа	1.63097e+06	3.1882e+06	3.3992e+06
5	Мощность нагрева	0	0	0
6	Мольные доли, жидкость			
7	Метан	0.0256011	0.00808809	0.00573149
8	Этан	0.244349	0.141889	0.0767601
9	Пропан	0.38497	0.415692	0.356032
10	и-Бутан	0.34508	0.434331	0.561476
11	Мольные доли, газ			
12	Метан	0.297004	0.105642	0.0785821
13	Этан	0.457549	0.388465	0.25027
14	Пропан	0.182903	0.348753	0.389756
15	и-Бутан	0.0625447	0.15714	0.281392

Рис.9.1.3 Колонна, результаты по секциям

9.2. Колонна с конденсатором



Инструмент : колонна с конденсатором; панель инструментов : создание сложного оборудования

На первой вкладке диалога задается один из четырех типов колонны (рис.9.2.4-5) – при первом типе продукт охлаждается в конденсаторе до жидкости, далее часть возвращается в колонну, второй тип подобен первому, но в конденсаторе жидкость переохлаждается и для данного типа следует задать дополнительно еще один параметр, при третьем типе в конденсаторе происходит частичное охлаждение продукта, жидкая часть возвращается полностью в колонну, газовая – отводится, при четвертом типе также происходит частичное

охлаждение, причем в колонну отводится только часть жидкости после конденсатора.

Количество секций колонны (далее – N) задается на второй вкладке диалога оборудования (рис.9.2.6). Подача жидкости на последнюю (нижнюю) секцию – обязательна. Допускается подача смеси на произвольную секцию от первой до предпоследней. Номер этой секции задается под количеством секций. Конденсатор считается как секция 1, поэтому при выводе все секции колонны нумеруются с 2. То есть, при задании 10 секций и дополнительной подачи на 4-ю секцию, колонна будет отображаться с 11 секциями, с подачей на 11 и 5 секции.

Следует задать один из вариантов спецификации конденсатора (рис.9.2.7) :

- температура нагрева на выходе из конденсатора,
- мощность охлаждения конденсатора,
- массовый или мольный расход на выходе из колонны,
- отношение мольных расходов возвращаемой и отводимой частей (флегмовое число),
- массовая или мольная доля выбранного компонента в выходном потоке,
- массовый или мольный расход выбранного компонента в выходном потоке;
- мольный расход газа (указывается только для колонны 4 типа).

Давление по колонне допускается задать вручную линейным или постоянным, или постоянным по одному из входных потоков (рис.9.2.8). Отображение результатов по секциям аналогично отображению для колонны (рис.9.2.9).

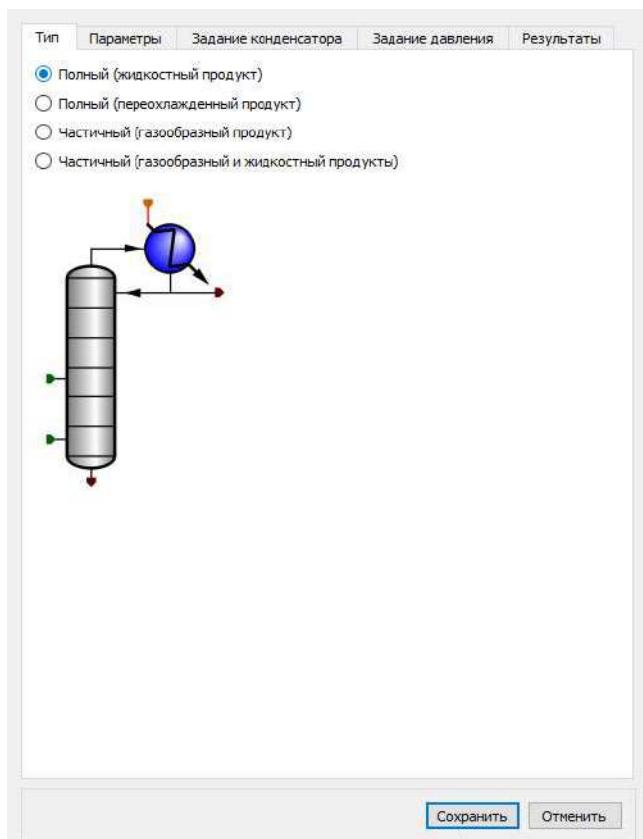


Рис.9.2.4 Колонна с конденсатором, базовый тип конденсатора

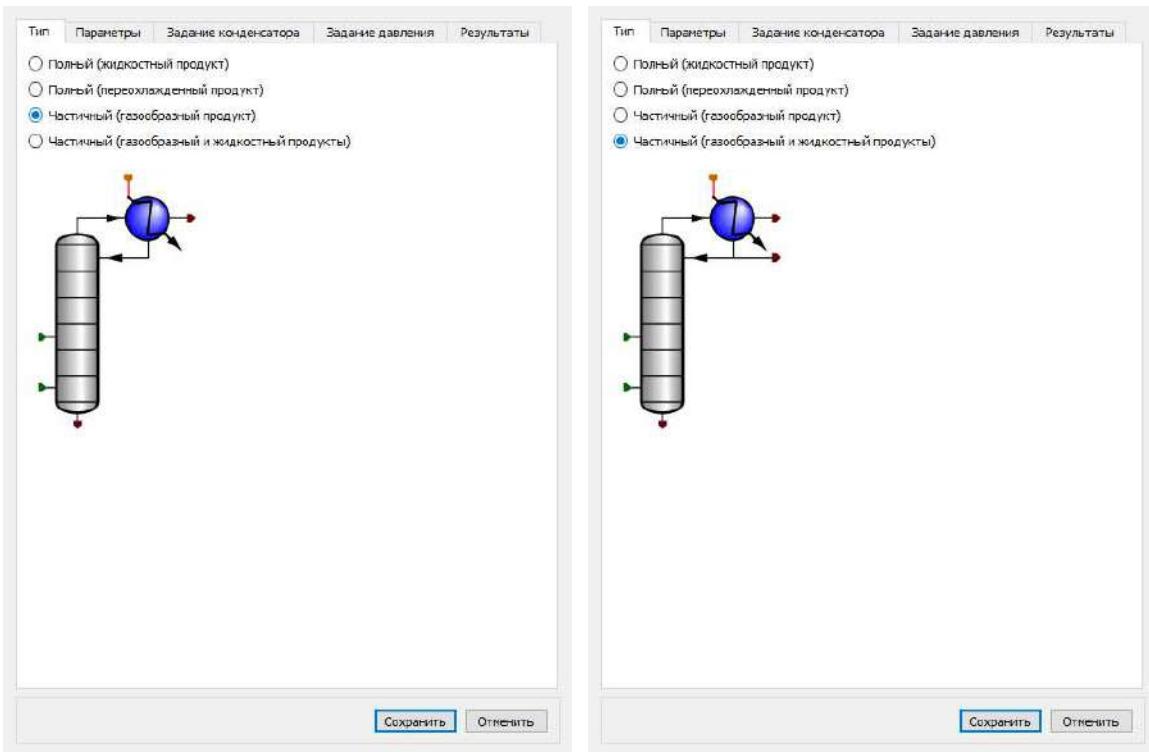


Рис.9.2.5 Колонна с конденсатором, альтернативные типы конденсатора

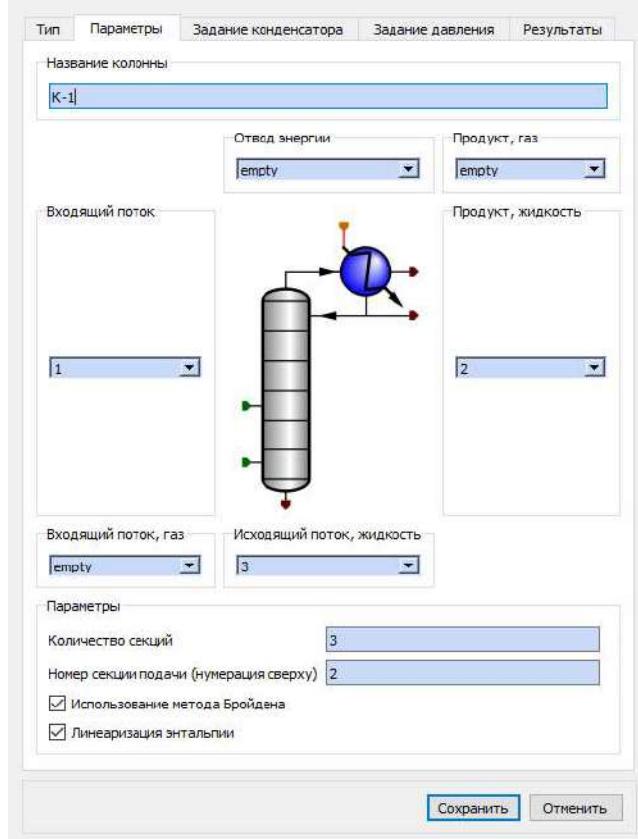


Рис.9.2.6 Колонна с конденсатором

Тип Параметры Задание конденсатора Задание давления Результаты

<input type="radio"/> мощность охлаждения конденсатора	0	кДж/ч
<input type="radio"/> Температура	0	°С
<input type="radio"/> Массовый расход	0	кг/ч
<input type="radio"/> Мольный расход	0	моль/ч
<input checked="" type="radio"/> Коэффициент рефлюкса	2	-
<input type="radio"/> Доля компонента	0,5	-
<input type="radio"/> Массовая доля компонента	0,5	-
<input type="radio"/> Мольный расход компонента	0	моль/ч
<input type="radio"/> Массовый расход компонента	0	кг/ч
Мольный расход газа	0	моль/ч
Выбрать компонент	undefined	

Рис.9.2.7 Спецификация конденсатора

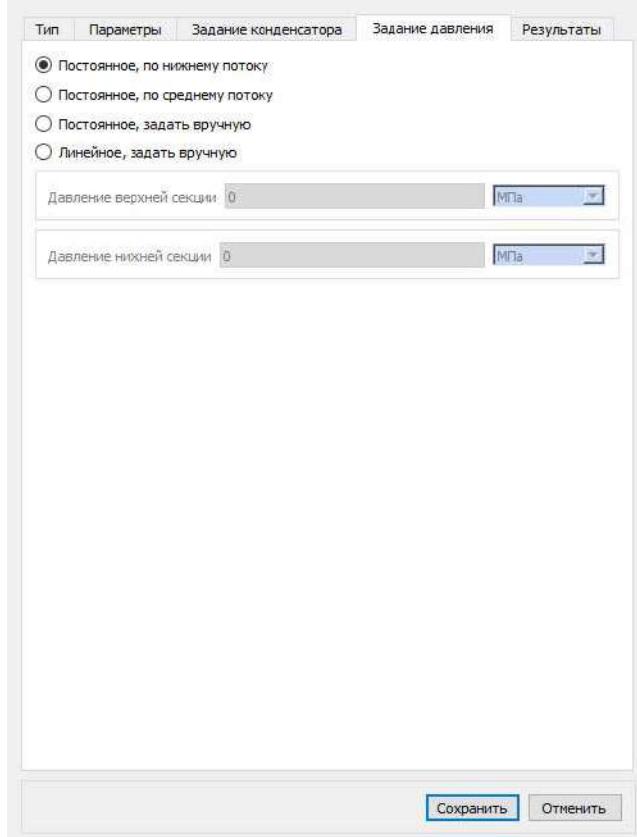


Рис.9.2.8 Колонна с конденсатором, задание давления

Тип	Параметры	Задание конденсатора	Задание давления	Результаты		
	Номер секции	1	2	3	4	5
1	Температура	160.525	220.855	256.006	280.04	
2	Давление	9.86923	9.86923	9.86923	9.8692	
3	Поток жидкости	689654	521681	456620	2.17488e+0	
4	Поток газа	0	1.03448e+06	866508	80144	
5	Мощность нагрева	nan	0	0		
6	Мольные доли, жидкость					
7	Метан	0.594032	0.0866159	0.0278849	0.021671	
8	Этан	0.387873	0.681506	0.391621	0.17021	
9	Пропан	0.0171026	0.191992	0.37213	0.34485	
10	и-Бутан	0.000991689	0.0398856	0.208364	0.46326	
11	Мольные доли, газ					
12	Метан	0	0.594032	0.288542	0.27147	
13	Этан	0	0.387873	0.564655	0.39000	
14	Пропан	0	0.0171026	0.122395	0.21937	
15	и-Бутан	0	0.000991689	0.0244078	0.11914	
16	Мольные доли, смесь					
17	Метан	0.594032	0.423928	0.198588	0.088936	

Рис.9.2.9 Отображение результатов

9.3. Колонна с ребойлером



Инструмент : колонна с ребойлером; панель инструментов : создание сложного оборудования

Количество секций колонны (далее – N) задается на первой вкладке диалога оборудования (рис.9.3.10). Подача жидкости на первую (верхнюю) секцию – обязательна. Допускается подача смеси на произвольную секцию от второй до последней. Номер этой секции задается под количеством секций.

Ребойлер считается как секция N+1. Весь газ на выходе из ребойлера подается на секцию N, вся жидкость – выводится из колонны. Следует задать один из вариантов спецификации ребойлера (рис.9.3.11) :

- температура нагрева на выходе из ребойлера,
- мощность нагрева ребойлера,
- массовый или мольный расход на выходе из колонны,
- отношение массовых расходов на выходе из ребойлера жидкость/газ,
- массовая или мольная доля выбранного компонента,
- массовый или мольный расход выбранного компонента.

Давление по колонне допускается задать вручную линейным или постоянным, или постоянным по одному из входных потоков (рис.9.3.12). Отображение результатов по секциям аналогично отображению для колонны (рис.9.3.13).

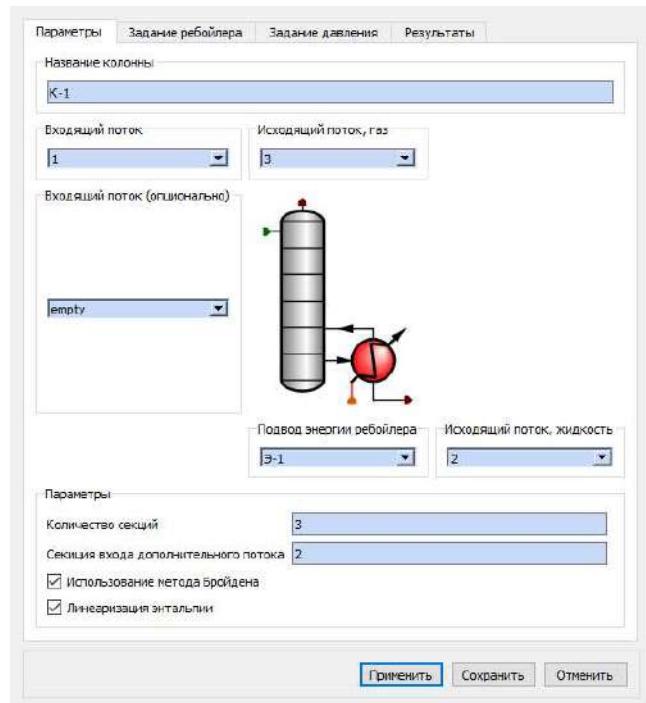


Рис.9.3.10 Колонна с ребойлером

Параметры Задание ребойлера Задание давления Результаты

<input checked="" type="radio"/> Площадь нагрева ребойлера	0	кДж/ч
<input type="radio"/> Температура	0	°С
<input type="radio"/> Массовый расход	0	кг/ч
<input type="radio"/> Мольный расход	0	моль/ч
<input type="radio"/> Отношение жидкость/газ ребойлера	2	-
<input type="radio"/> Доля компонента	0.5	-
<input type="radio"/> Массовая доля компонента	0.5	-
<input type="radio"/> Мольный расход компонента	0	моль/ч
<input type="radio"/> Массовый расход компонента	0	кг/ч
Выбрать компонент	undefined	

Рис.9.3.11 Спецификация ребойлера

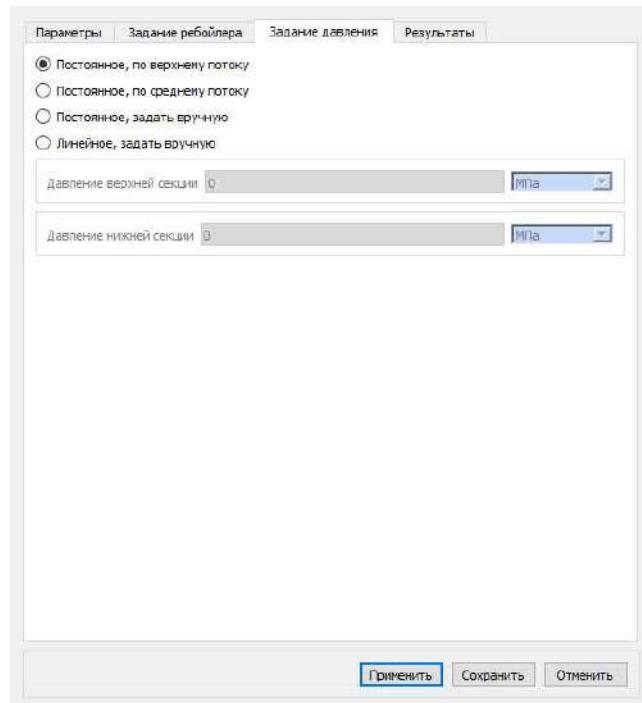


Рис.9.3.12 Колонна с ребойлером, задание давления

	Номер секции	1	2	3	4
1	Температура	284.613	284.613	284.613	284.613
2	Давление	9.86923	9.86923	9.86923	9.86923
3	Поток жидкости	1.74242e+06	1.74242e+06	1.74242e+06	1.74242e+06
4	Поток газа	777283	5.94504e-07	2.51253e-07	2.29716e-07
5	Мощность нагрева	0	0	0	0
6	Мольные доли, жидкость				
7	Метан	0.0214298	0.0214298	0.0214298	0.0214298
8	Этан	0.137574	0.137574	0.137574	0.137574
9	Пропан	0.329495	0.329495	0.329495	0.329495
10	и-Бутан	0.511501	0.511501	0.511501	0.511501
11	Мольные доли, газ				
12	Метан	0.27613	0.27613	0.27613	0.27613
13	Этан	0.33994	0.33994	0.33994	0.33994
14	Пропан	0.233881	0.233881	0.233881	0.233881
15	и-Бутан	0.15005	0.15005	0.15005	0.15005
16	Мольные доли, смесь				

Применить Сохранить Отменить

Рис.9.3.13 Отображение результатов по секциям

10. Специальные возможности

10.1. Работа с базой данных датчиков

Aerosym позволяет работать с базой данных показателей сенсоров в формате sqlite. В этой базе должно быть две таблицы:

- 1) таблица sensors со столбцами (id int, sensor text), где id – численный идентификатор датчика, sensor – имя датчика,
- 2) таблица data со столбцами (sensor int, date int, value real), где sensor – численный идентификатор датчика, date – число даты и времени (в секундах с 1 января 1970, см. команду Tcl "clock seconds"), value – значение датчика.

Создание sqlite базы из данных csv таблиц производится пользователем, как правило, скриптом. Пример скрипта на языке Tcl показан ниже.



Скрипт подготовки базы показаний датчиков sqlite

```
encoding system utf-8
set datafile _data_202010261208.csv
#"moment","sensorId","value"
#2020-10-15 00:00:00,1,0.741044
set sensorfile sensor_202010261227.csv
#"sensorId","sensor","description","type","technology","mnemo","status","sql_state",
#"data_type","measure","last_value","last_value_moment",
#... "OPC_import","min_valid","max_valid","MS_status","location"
#1,ABS_DENS,Абсолютная плотность,Плотность,Основная технология,КУУГ,В работе,"1",
#Первичный,кг/м3,0.74625,2020-10-26 13:27:00,1,0.0,3.0,1,""
```

```

console show
update
#####
package require sqlite3
sqlite3 db ./sensors.sqlite
db eval {BEGIN TRANSACTION}
### sensor table
set cols "id int, sensor text, description text,type text,technology text,mnemo text,status
text,sql_state int,data_type \
text,measure text,last_value real,last_value_moment int,OPC_import int,min_valid \
real,max_valid real,MS_status int,location text"
db eval "CREATE TABLE sensors($cols)"
set infile [open $sensorfile]
gets $infile line ;# Skip the first line - we know the meaning of the columns
while { [gets $infile line] >= 0 } {
if {[regexp {\,$} $line]} {append line "\\"}
set matches [regexp -inline -all {([^\,]*|[^\"]*)(\,|\$)} $line]
set list1 {}
set date [lindex $matches [expr 37]]
if {[catch {set seconds [clock scan $date]} ret]!=0} {
error $line
}
set matches [lreplace $matches 37 37 $seconds]
foreach {a b c} $matches {
if {[regexp {"} $b]} {
lappend list1 $b
} else {
lappend list1 \"$b\"
}
}
set str [join $list1 ,]
if {[catch {db eval "INSERT INTO sensors VALUES($str)"} ret]!=0} {
error $line
}
}
close $infile
### data table
db eval {CREATE TABLE data( sensor int, date int, value real )}
set infile [open $datafile]
gets $infile line ;# Skip the first line - we know what the columns mean
set c 0
while { [gets $infile line] >= 0 } {
incr c
if {$c%1000==0} {
puts stdout $c
update
}
lassign [split $line ,] date sens value
set seconds [clock scan $date]
db eval {INSERT INTO data VALUES($sens,$seconds,$value)}

```

```
}

close $infile
db eval {COMMIT TRANSACTION}
db eval {CREATE INDEX idx_sensor ON data (sensor)}
db eval {CREATE INDEX idx_date ON data (date)}
db close
exit
```

Для привязки датчиков в базе и элементов в расчетной схеме используются объекты привязок.

Если датчик или переменная привязана к сенсору, то значение заносится в референсное значение элемента и, таким образом, пользователь может сравнить расчетное значение с показаниями реальных датчиков. В случае привязки датчика или переменной к заданию потока, то значение непосредственно вносится в расчет как параметр потока.

На рис.10.1.2 показана панель инструментов управления базой датчиков: 1 – загрузка sqlite базы, 2 – окно выбора текущего времени, с точностью до минуты, 3 – чтение данных из базы для текущего времени, при чтении значения датчиков выводятся в окно лога, 4 – запуск серийного расчета с шагом 1 минута, 5 – останов серийного расчета, 6 – сохранение показаний датчиков для текущего времени в текстовый файл.

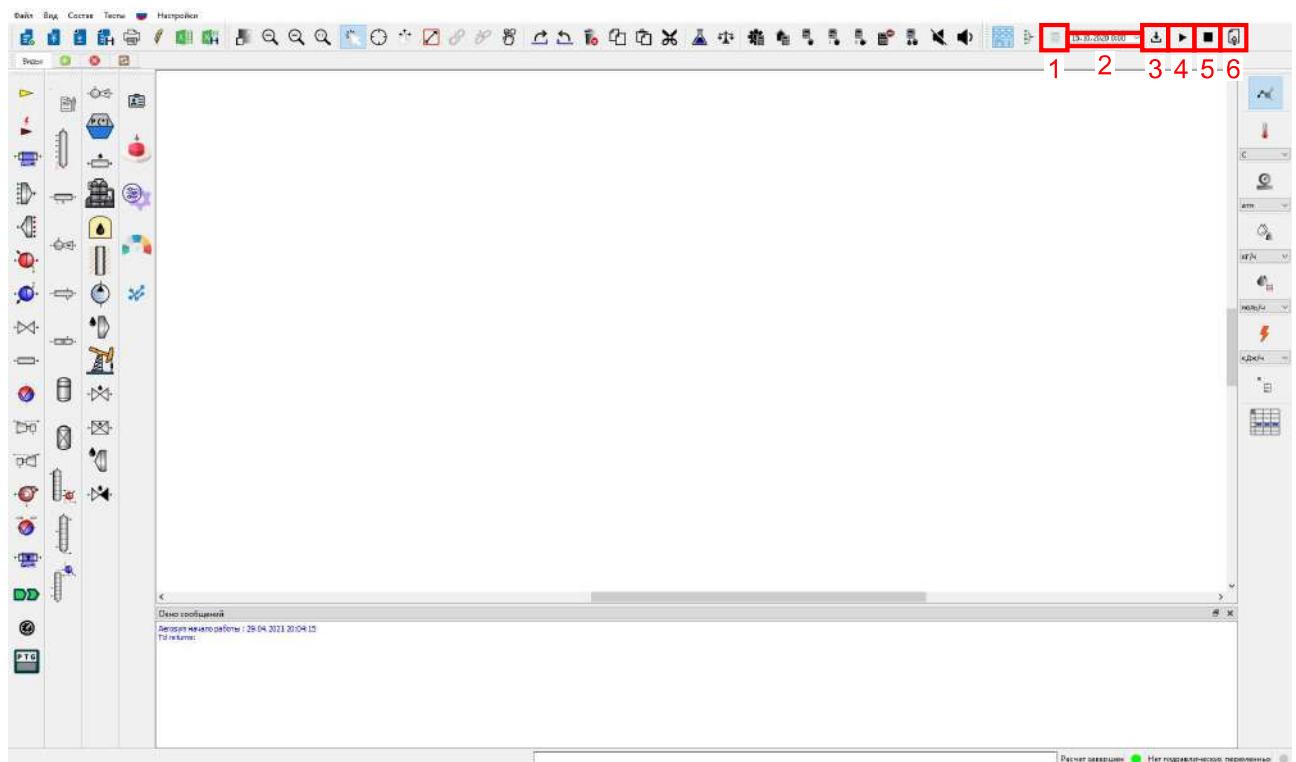


Рис.10.1.1 Управление базой данных датчиков

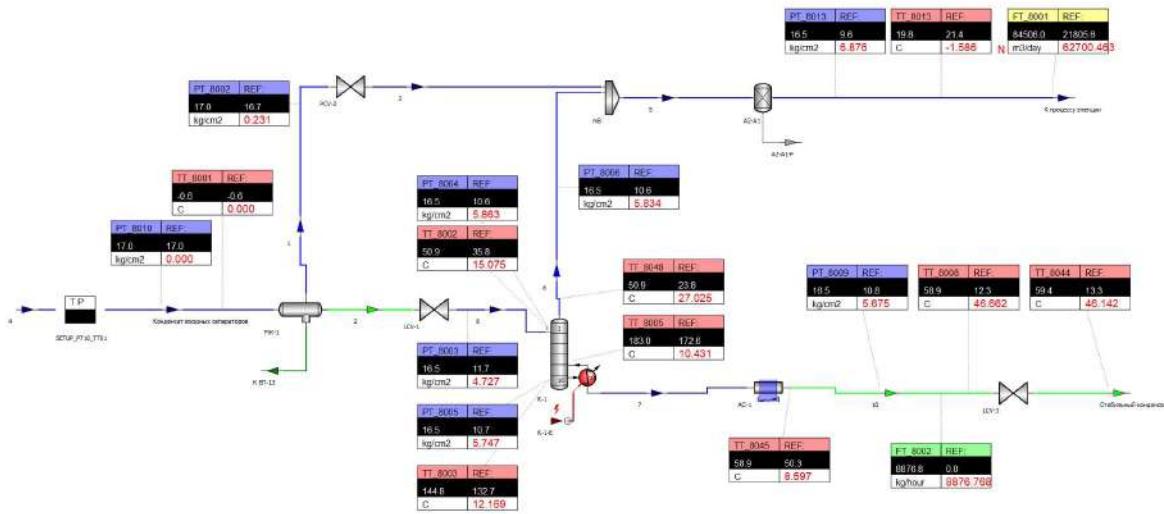


Рис.10.1.2 Схема со сравнением данных расчета с датчиками из базы

10.2. Встроенные тесты

В программу встроен ряд тестов, которые были использованы для валидации работы программы и могут быть использованы пользователем для ознакомления с программой. Создание тестовых схем доступно в пункте меню Тесты. Каждый тест создает несколько расчетных схем, отличающихся некоторыми параметрами – потока или же режимом оборудования. Тестовые схемы создаются снизу от текущей рабочей области.

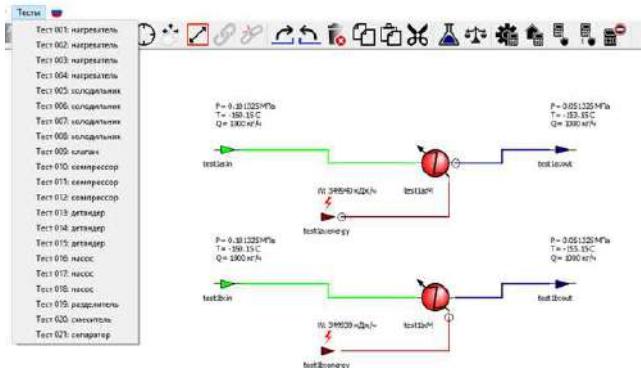


Рис.10.2.3 Создание встроенных тестов

10.3. Формат Excel для базы данных

При сохранении базы данных в файл собственного формата с расширением *.adb Aerostim производит автоматическое сохранение файла в формате Excel, в котором вся расчетная схемы представлена в виде таблиц специального формата. на первом листе создаётся таблица для всех смесей (рис.10.3.4), на втором листе создаются таблицы для задания элементов оборудования, позиционирования и видов (рис.10.3.5).

Подобный формат позволяет создавать расчетные схемы непосредственного в Excel, делать их параметризованными, используя средства Excel для редактирования (формулы и т.п.). При задании связи между элементами нет необходимости создавать элемент типа поток или создавать элементы энергетического потока для оборудования типа компрессор, насос.

Если при сохранении существует файл Excel с аналогичным именем, то к имени прибавляется число, делающее файл уникальным. На панели инструментов имеются кнопки сохранения и загрузки файлов Excel. Файлы Excel, созданные или измененные пользователем самостоятельно, могут вызвать ошибки при

загрузке, например, если нарушен формат таблиц или отсутствует обязательный параметр оборудования. Ошибки при импорте файла отображаются в окне лога. Часть параметров задается неявно, в зависимости от наличия или отсутствия определенных параметров. Так, например, для клапана, наличие числа в столбце dP переводит элемент в режим задания падения давления, а в столбце P+ – в режим задания давления на выходе. Для задания нескольких значений в одной ячейке следует использовать символ запятой. Например, для разделителя с 2-м и 4-м активными выходными потоками значение в столбце split имеет вид ",0.2,,0.8".

A	B	C	D	E	F	G	H
1 unit							
2 temperature		C					
3 pressure		MPa					
4 massflow		kg/hour					
5 *							
6							
7 component							
8 *	4	A2-A1					
9 CS-Methane		0.258594726					
10 CS-Ethane		0.070539656					
11 CS-Propane		0.067751389					
12 CS-Isobutane		0.020272352					
13 CS-N-butane		0.035579256					
14 CS-Isopentane		0.021077883					
15 CS-N-pentane		0.0203971					
16 CS-N-hexane		0.041233217					
17 CS-N-heptane		0.03889988					
18 CS-N-octane		0.027342496					
19 CS-N-decane		0.01480867					
20 CS-Water		0.31515574					
21 CS-Nitrogen		0.007887759					
22 CS-Hydrogen-sulfide		0.001387349	0.001				
23 CS-Carbon-dioxide		0.004630728					
24 CS-Methanol		0					
25 CS-Helium-4		9.09026E-05					
26 CS-Toluene		0.000459641					
27 CS-N-nonane		0.022407419					
28 CS-Ethyl-mercaptan		0.000328343	0.01				
29 CS-Cyclopentane		0.000352276					
30 CS-Cyclohexane		0.000840277					
31 CS-Methylcyclopentane		0.000808695					
32 CS-Methylcyclohexane		0.000887708					
33 CS-N-undecane		0.025256937					
34 *							
35							
36 fractions							
37 file	fracs_test						
38 *	Tmin		Tmax	Tmid	Tb	density	MW
39 units	C	C	C	K	kg/m3	g/mol	
40 *							
41							
42							
43							

Рис.10.3.6 Excel таблица для компонент смеси

Название	Тип	ID	Позиция	Имя	X	Y	dx	dy	ширина	высота	Родитель
unit		4	279.6062333	15.29731061	145008.97619	4	SETUP_P1	-13.1	4.4		
Позиционирование											
PCV-2	SEPARATOR3	PCV-2	LCV-2	K_EBT-2	-8.5	4.2			0		
PCV-2	VALVE	m6M1			-7.5	0.3			10.27770873		
K_EBT-13	STREAM				-8.3	5.7					
m8	MIXER	A2-41			-2.8	0.4					
A2-43	FILTER				0.1	0.4					
K-2	STRIPPER	m8M2	AVO-1		-3.6	4.8			10.1497052497		
LCV-3	VALVE	m1M1			4.4	5.8					
LCV-1	VALVE	m1M1			-6	4.3			11.34680503		
SETUP_PT10_TT01	SETUPFLOW	PT10-1#1			11.4	4.1			16.41773173		
Клапаны сушки азотом	STREAM				5.5	0.6					
Сливочный конденсатор	STREAM				6.5	5.9					
AVO-2	AIRCOOLER	LCV-3			0.1	5.8			0	80.34772	
PT_3018	PRES-SENSOR				0.7	-0.9					
PT_3019	TEMP-SENSOR				2.6	-0.9					
PT_3020	TEMP-SENSOR				2.6	-0.9					
PT_3001	VPC-SENSOR	PT10-1#1			-10	0.4					
PT_3002	PRES-SENSOR	PT10-1#1			5.8	5.1					
PT_3003	PRO-SENSOR	LCV-1#1			2.2	4.8					
TT_3048	TEMP-SENSOR	K-1#1			-5	1.8					
PT_3005	PRES-SENSOR	K-1#1			-5	1.8					
TT_3044	TEMP-SENSOR	Отводочный конденсатор			5.1	3.7					
TT_3008	TEMP-SENSOR	AVO-1#1			2.2	3.7					
PT_3009	PRES-SENSOR	AVO-1#1			1.1	5.7					
TT_3002	FLOW-SENSOR	AVO-1#1			2.6	6.9					
TT_3015	TEMP-SENSOR	AVO-1#1			-0.3	5.8					
TT_3005	TEMP-SENSOR	K-1#1-lowstream			-2.2	4.6					
TT_3003	TEMP-SENSOR	K-1#1-lowstream			-5.9	7.3					
PT_3005	PRES-SENSOR	K-1#1-lowstream			-5.9	6.2					
PT_3004	PRES-SENSOR	K-1#1-upstream			-5.6	2.1					
TT_3002	TEMP-SENSOR	K-1#1-upstream			-5.9	3					
PT_3010	PRES-SENSOR	SETUP_PT10_TT01#1			11.4	4.9					
TT_3001	TEMP-SENSOR	SETUP_PT10_TT01#1			10.5	3					
Показания											
PCV-1#1					-8.1	3.2			up		
PCV-2#1					-6.9	4.4					
PCV-3#1					-6.1	0.4			postPCV-2		
m6M1					-1.6	0.6					
K-2#1					-3.5	4			up		
K-3#1					-1.9	5.8					
LCV-1#1					-4.7	4.4			postLCV-1		
SETUP_PT10_TT01#1					-0.5	4.4			Конденсат отходов сепараторов		
AVO-1#1					2.0	5.8			postAVO-1		
Параметры											
0: currentview					-1029.086741	-132.1450585	2486	1185.008			
1: View1					-1236.828703	-285.520485	2565	1222.541			
2: View2					1329.1257	-2910.556108	2875	1227.549			

Рис.10.3.7 Excel таблицы для оборудования и позиционирования

10.4. Диалог управления насосами

Специальный диалог управления насосами и задвижками вызывается кнопкой на панели инструментов "Специальные инструменты". Этот диалог отображает также общие сведения о расходах в потребителях (рис.10.4.9). С помощью данного диалога пользователь может оценить влияние частоты вращения насосов или положения задвижек на выход продукции.

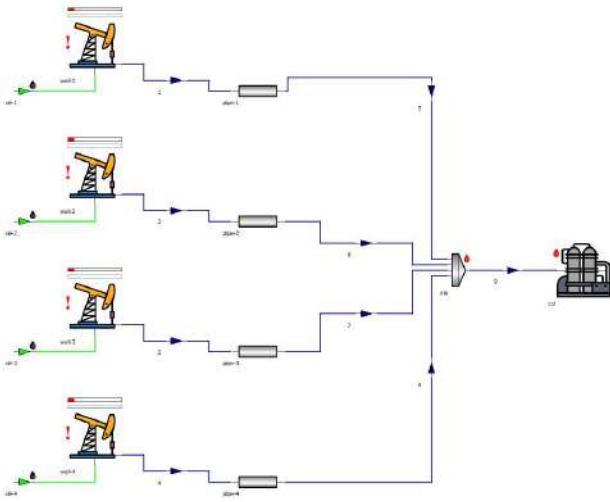


Рис.10.4.8 Схема НГС

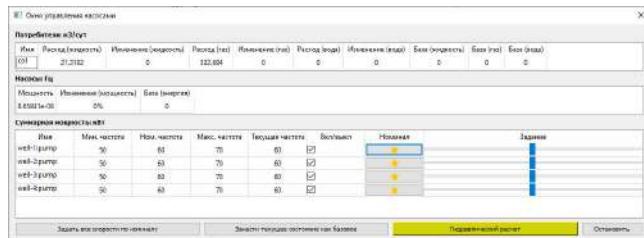


Рис.10.4.9 Диалог управления насосами

11. Подбор конфигурации манифольда

11.1. Манифольд

Интеллектуальный манифольд (ИМ) посредством объединения высоконапорных и низконапорных потоков позволяет выводить в магистраль потоки, чье давление изначально было ниже магистрального. Это достигается без применения компрессорных станций с помощью системы эжекторов, внутритрубных сепараторов и смесителей. От того, как и в какой последовательности объединить потоки, зависит выходное давление всей системы. Поиск оптимальной конфигурации заключается как в повышении выходного давления при полном сборе всех расходов, так и в определении тех потоков, которыми придется пожертвовать – то есть в максимизации выходного расхода при ограничении на выходное давление.

Основным элементом ИМ является блок объединения двух потоков, схема которого приведена на рис.11.1.1. Высоконапорный поток разбивается внутритрубным сепаратором на газовую и жидкую составляющие, первая идет в эжектор, вторая в выходной смеситель. Низконапорный поток полностью попадает в эжектор и его давление повышается за счет высоконапорного потока. Поток из эжектора идет в выходной смеситель. Давление на выходе из блока определяется работой эжектора – главным образом соотношением давлений и расходов в его подводящих потоках.

В случае близости входных давлений применение эжектора неоправданно, в таком случае блок просто объединяет расходы и состоит из одного выходного

смесителя. Из элементарных блоков строится каскадная схема, которая имеет на выходе один поток (рис.11.1.2).

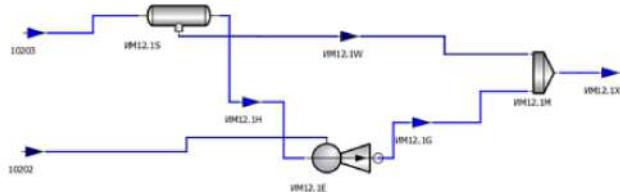


Рис.11.1.1 Блок объединения двух потоков

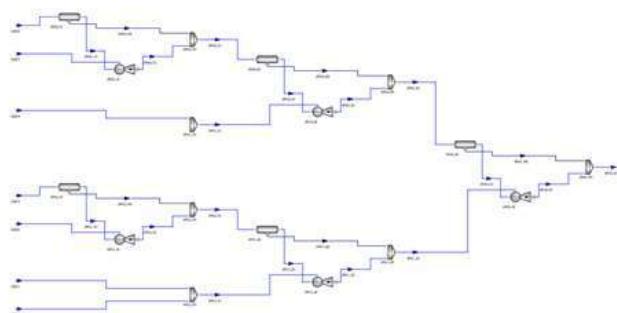


Рис.11.1.2 Схема ИМ

11.2. Реализованные алгоритмы

Количество вариантов попарного объединения потоков стремительно возрастает по мере увеличения числа входных потоков. Максимально возможное количество схем можно ограничить величиной $n!(n-1)!$, но сюда входят и повторяющие друг друга конфигурации. В общем случае для решения данной задачи следует применять случайный поиск или специфические алгоритмы дискретной оптимизации типа генетических. Одним из альтернативных вариантов будет поиск в рамках определённых схем или стратегий. Например, если ограничиться только плотными схемами объединения, в которых на каждом шаге попарно объединяется максимально

возможное количество потоков и фиксируется поведение при нечетном количестве текущих потоков – оставляются свободными потоки снизу или сверху. В таком случае общее количество комбинаций будет $n!$ и для задачи с 12 потоками и менее возможен прямой перебор вариантов.

В отличие от плотных, в разреженных схемах на каждом этапе может объединяться всего одна пара (рис.11.2.3). В таблице 1 дано сравнение количества комбинаций для числа потоков от 2 до 12. Для плотной схемы там же дана оценка времени расчета на тестовом компьютере.

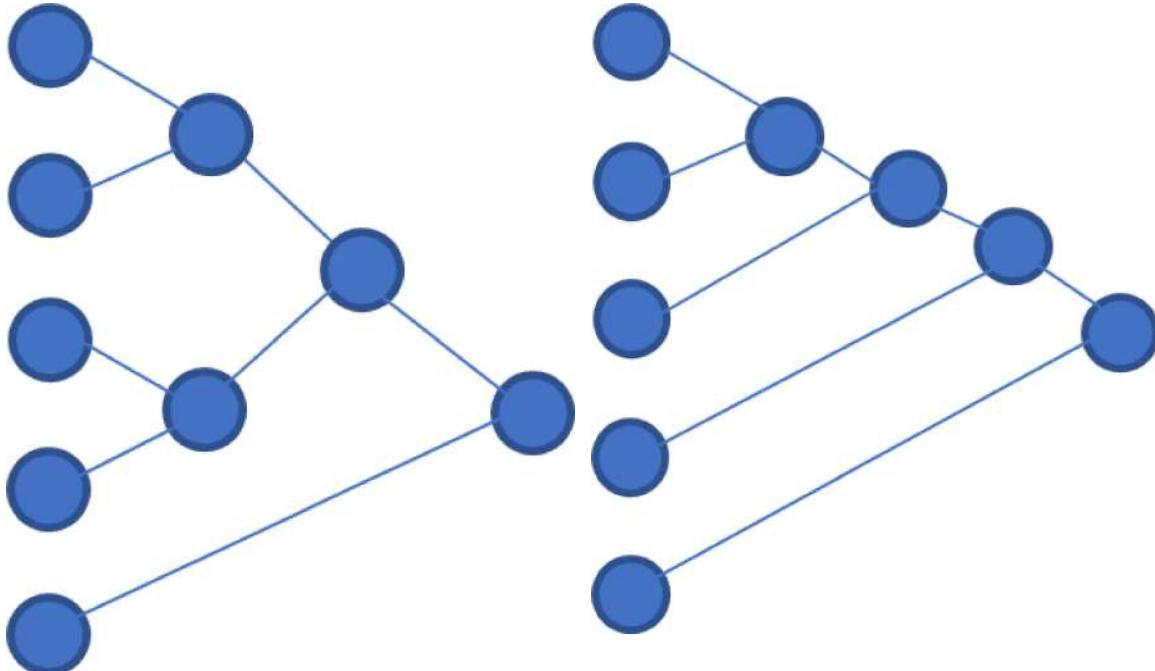


Рис.11.2.3 Плотные и разреженные схемы

Количество потоков	Количество конфигураций ($n!$)	Время анализа ($n!$)	Количество комбинаций
			$n!(n-1)!$
2	2	<1с	2
3	6	<1с	12
4	24	<1с	144
5	120	<1с	2,880
6	720	<1с	86,400
7	5,040	<1с	3,628,800
8	40,320	<1с	203,212,800
9	362,880		14,631,321,600
10	3,628,800		1.3e12
11	39,916,800		144.9e12
12	479,001,600	1.64	19.1e15

Критерием оптимизации является максимизация выходного расхода при условии превышения выходным давлением значения давления отсечения. При двух одинаковых расходах приоритет получает комбинация с большим давлением. Таким образом, если задать нулевое давление отсечения, оптимальной будет считаться конфигурация с максимальным выходным давлением. При наличии одного или нескольких потоков с давлением ниже давления отсечения, в оптимальной конфигурации может отсутствовать один или несколько таких потоков. Отключение потоков описано ниже в отдельном разделе.

11.3. Описание работы диалога манифольда

Создание ИМ происходит поэтапно: сначала в диалоге ИМ анализируются различные схемы ИМ с одновременным упрощенным расчетом выходных параметров, далее выбранная схема строится для проведения полноценного расчета. Предварительный анализ выполняется на основе давлений, расходов и доли газа во входящих потоках. При этом температура, состав потоков не

учитываются, поэтому результаты предварительного анализа не являются достаточными для подтверждения предлагаемого решения.

Диалог ИМ вызывается кнопкой на панели инструментов «Создание сложного оборудования» и имеет вид, представленный на рис.11.3.4. Перед вызовом диалога ИМ рекомендуется задать компоненты в меню «СоставВыбрать компоненты», так как без этого расчетная схема генерироваться не будет.

В поле название ИМ (рис.11.3.4 поз.1) вбивается префикс, который будет использоваться в наименовании всех элементов ИМ в расчетной схеме. В таблицу (рис.11.3.4, поз.2) заносится информация о потоках – давление, массовый поток, доля газа и имя. Информация может быть внесена копированием таблицы из Excel или текстового редактора. Порядок введенных строк и наличие пустых строк сказывается только на одном фиксированном сценарии. Единицы измерения столбца давление и массовый поток задаются в соответствующем блоке (рис.11.3.4 поз.4).

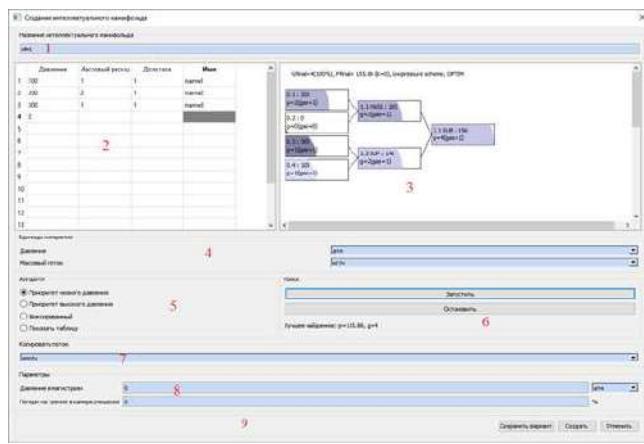


Рис.11.3.4 Схема ИМ

Давление может быть положительным, нулевым и отрицательным. В последнем случае вся строка игнорируется и это используется для временного исключения потока из рассмотрения. Для нулевого давления нет необходимости задавать

другие параметры, это служебный поток, чье назначение будет описано ниже. Для положительных давлений следует задать значение массового потока (положительное число) и долю газа (число от 0 до 1). Имя опционально, оно используется вместо автоматического при генерации расчетной схемы. В текущей версии количество входных потоков ограничено 16-ю.

Блок схема анализируемого варианта ИМ отображается в графическом окне (там же, поз.3). В заголовке дана информация о финальном расходе и его процент от максимально возможного, выходное давление и коэффициент относительно давления в магистрали (или давления отсечения), а также применённый алгоритм.

Каждый поток отображается в виде блока, в котором в первой строке приводится название (номер слоя и порядковый номер в слое через точку), тип смещивания (MIX PASS и т.д.) и давление. Во второй строке приводится расход и в скобках доля газа. Элемент круга имеет радиус пропорциональный корню из расхода и оттенок в соответствии с давлением.

Выбор алгоритма (поз.5) имеет четыре опции – схема с приоритетом высокого и низкого давления, схема с фиксированным порядком и отображение схемы-примера с максимальным количеством потоков. Для схемы с приоритетом высокого и низкого давления возможно запустить процесс оптимизации методом перебора (поз.6).

Если все входные потоки обладают одинаковым составом, то рекомендуется создать поток с этими общими данными и указать его в блоке «Копировать поток» (поз.7). Температура и состав данного потока буду скопированы во все входные потоки при создании расчетной схемы. Указание существующего потока, помимо этого, изменит тип расчета эжектора с упрощенного на полный. Два типа расчетов при оптимизации будут изложены ниже.

Давление отсечения и единицы измерения задается в блоке «Параметры» (поз.8). Там же задаются потери давления на трение в камере смешения, в процентах.

Три кнопки управления внизу диалога (рис.2, поз.9) выполняют следующие действия:

«Сохранить вариант» – сохранение в текущей папке изображения графического окна в файле с автоматическим названием вида Manifold12.png и содержания таблицы в файле *.png.txt;

«Создать схему» – создание расчетной схемы и закрытие диалога;

«Отменить» – закрытие диалога без создания расчетной схемы.

При повторном открытии диалога в нем отсутствуют входные данные предыдущего расчета.

Учитывая большое количество возможных конфигураций ИМ, в текущей версии реализован анализ плотных схем, то есть тех, в которых на каждом этапе все потоки объединяются попарно. Так как количество потоков не всегда равно степени 2, на ряде этапов может образоваться нечетное количество потоков и один поток не участвует в объединении. В схеме приоритет высокого давления одиночные потоки остаются всегда снизу, а в схеме приоритет низкого давления – сверху (рис.11.3.5).

При активации одного из этих двух сценариев происходит сортировка входных потоков по убыванию давления, и они заносятся в фиксированную схему,

определяемую только количеством потоков. Следует помнить, что это не оптимальная конфигурация в рамках данного сценария, и найденное ранее оптимальное решение будет сбрасываться при переключении сценария.



Рис.11.3.5 Схемы с приоритетом высокого и низкого давлений

Для поиска оптимального решения в рамках одного из сценариев, следует выбрать этот сценарий и нажать кнопку «Запустить». При этом будет отображаться счетчик проанализированных конфигураций, общее количество конфигураций и информация по текущей лучшей конфигурации (рис.11.3.6). После анализа всех конфигураций, лучшая из них будет отображена в графическом окне и ее можно будет создать в качестве расчетной схемы. Поиск можно прервать кнопкой «Остановить», при этом в графическом окне будет отображена лучшая из уже проверенных конфигураций.

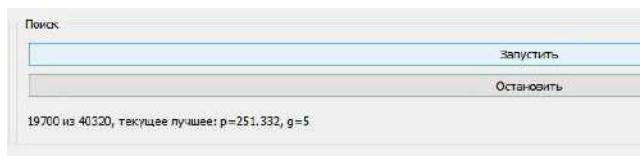


Рис.11.3.6 Схема с фиксированным порядком

Пользователь может попробовать свои схемы объединения потоков, в том числе и для разреженных схем. Для этого выбирается фиксированный сценарий, а потоки расставляются в таблице в соответствии с общей тестовой таблицей (рис.11.3.7), которая активируется при запуске диалога или нажатием «показать таблицу». Пример схемы с фиксированным сценарием показан на рис.11.3.8.



Рис.11.3.7 Тестовая схема



Рис.11.3.8 Схема с фиксированным порядком

11.4. Отключение потоков

Не всегда имеется возможность найти схему объединения всех потоков, при котором выходное давление выше давления отсечения. В этом случае частью входных потоков придется пожертвовать. Существует некоторый оптимальный набор отключаемых потоков, при котором их суммарный расход минимален, при этом выходное давление удовлетворяет критерию. Этот набор не

обязательно будет включать потоки с самыми низкими давлениями, ибо следует принимать в расчет и их расходы.

Для реализации отключения потоков в рамках задачи оптимизации вводятся следующие правила

- У каждого блока объединения потоков есть два входа, условно высоконапорный и низконапорный. Если давление на высоконапорном ниже, чем на низконапорном, то на выходе давление и расход нулевые – блок отключает оба потока.
- Если высоконапорный вход с нулевым давлением, то выходной так же нулевой
- Если низконапорный вход с нулевым давлением, то на выход передается высоконапорный поток

Так как оптимальный набор отключаемых потоков может иметь как четное, так и нечетное количество, в список всех потоков пользователь должен добавлять джокер – специальный нулевой поток. Если джокер оказывается не нужен, то он подмешивается снизу к одному из потоков, не оказывая влияния на решение.

На рис.7 показаны три варианта объединения потоков – в первой паре 110атм и 120атм происходит отключение обоих потоков, во второй паре 0атм и 130атм, джокер отключает один поток, в третьей паре высоконапорный вход по давлению выше низконапорного, и объединение происходит с помощью эжектора.

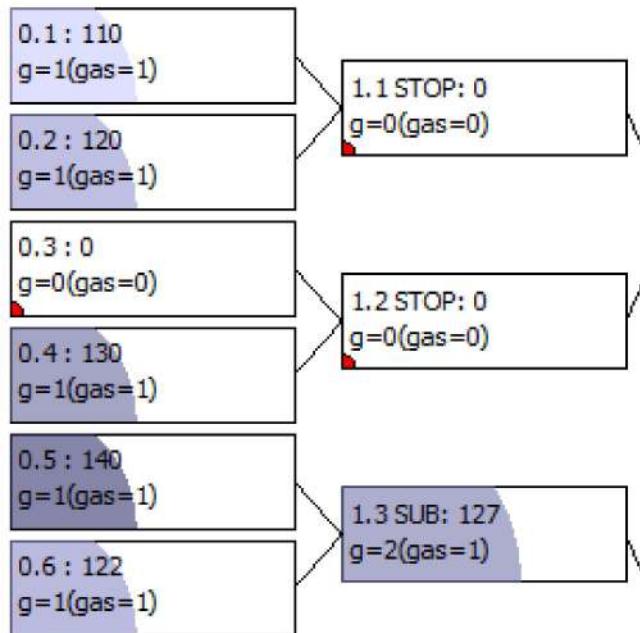


Рис. 11.4.9 Различные виды объединения потоков

На диаграмме ИМ после условного имени блока вида 1.3 (1 – номер уровня, 3 – номер блока в уровне) пишется слово, определяющее тип блока:

MIX – смеситель

SUB – дозвуковой эжектор

SUP – сверхзвуковой эжектор

PASS – прохождение высоконапорного потока без изменения (нулевой поток на низконапорном входе)

STOP – блокирование потоков

Джокеры могут быть так же использованы для увеличения гибкости системы. Так, например, при 4 входных потоках два джокера позволяют получить решение с разреженной схемой, в которой один низко напорный поток последовательно подключается к другим потокам (рис.11.4.10).

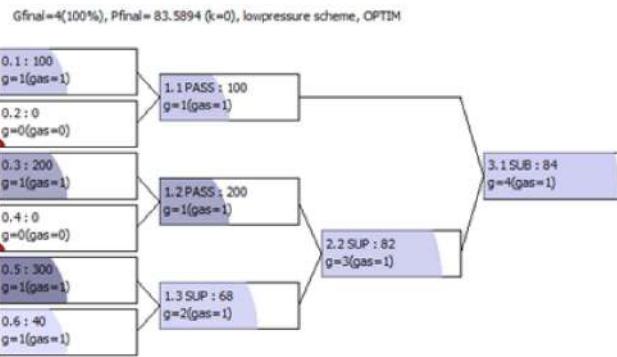


Рис. 11.4.11 Разреженная схема

11.5. Упрощенный расчет потоков

Расчет эжектора, а именно определение давления на выходе по давлениям и расходам на входе, является базовым элементом при поиске оптимальной схемы. Количество анализируемых вариантов велико, что делает скорость расчета эжектора важным фактором. Поэтому в диалоге поиска конфигурации ИМ реализовано два типа расчета эжектора – упрощенный и полноценный.

В первом случае выходное давление определяется на основании табличных данных, полученных для воздуха. Подразумевается, что выбирается оптимальный эжектор, работающий на критическом режиме в соответствии с коэффициентом эжекции и отношением давлений на входе. При этом под оптимальным понимается эжектор, дающий максимальное давление на выходе с учетом диффузора. Таблицы получены с помощью расчета эжектора в программе Aerosym.

Во втором случае используются данные одного из существующих потоков и математическая модель элемента типа эжектор. Упрощенный вариант дает существенный выигрыш по времени счета, но следует помнить, что реальная расчетная схема, сгенерированная на основе его поиска, может дать отличное от предсказанного результирующее давление. Второй вариант более затратный, но, в тоже время, более точный. Ниже приведено объяснение упрощенного расчета объединения потоков.

Как уже было сказано, ИМ представляет из себя каскадную схему из последовательного объединения пар потоков, в результате которых получается один поток. Существуют 3 варианта объединения потоков, который выбирается в зависимости от отношения высоконапорного и низконапорных давлений и получаемого коэффициента повышения давления $\text{eps} = P^{\text{out}} / P^{\text{low}}$.

- дозвуковой эжектор при $P^{\text{low}} < P^{\text{high}} < P^{\text{low}} \cdot 1.5$, $\text{eps} > 1$
- сверхзвуковой эжектор при $P^{\text{high}} > P^{\text{low}} \cdot 1.5$, $\text{eps} > 1$
- смеситель, если эжектор не повышает давления

Вследствие того, что в расчете эжектора учитывается диффузор, для больших коэффициентов эжекции суммарный коэффициент повышения давления менее единицы и активируется смеситель. Для смесителя давление на выходе равно меньшему из давлений на входе.

Для всех вариантов расход на выходе равен сумме расходов на входах, доля газа определяется по формуле

$$F^{out} = (F^{low} \cdot G^{low} + F^{high} \cdot G^{high}) / (G^{low} + G^{high})$$

где F – доли газа от 0 до 1, G – расходы.

Для расчета давления на выходе из эжектора сперва определяются две величины

$$K = G^{low} / (G^{high} \cdot F^{high})$$

$$\sigma = P^{high} / P^{low}$$

Для сверхзвукового эжектора значение выходного давления определяется с помощью интерполяции по табличным данным, графики для которых приведены на рис.11.5.12. Для дозвукового эжектора интерполяция производится аналогично, табличные данные представлены на рис.11.5.13.

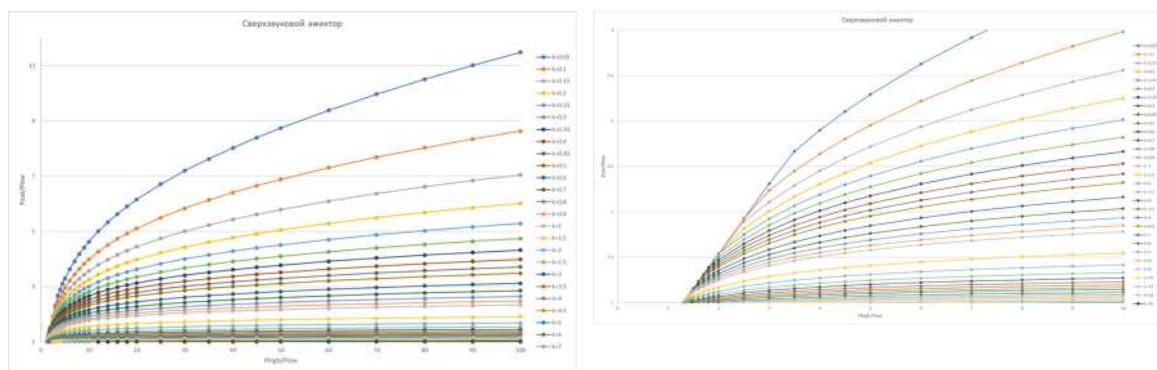


Рис.11.5.12 Определение давления на выходе для сверхзвукового эжектора

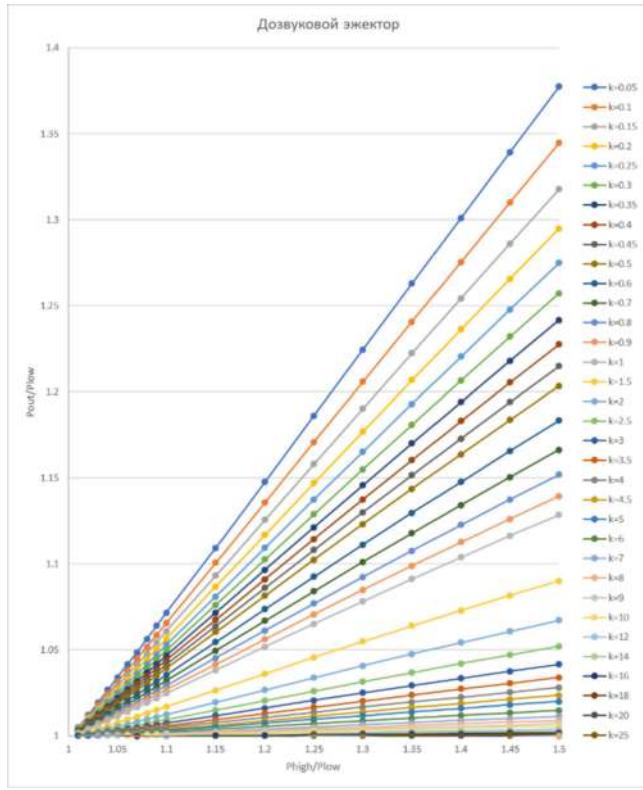


Рис.11.5.13 Определение давления на выходе для дозвукового эжектора

Факторы, которые могут вызвать существенную разницу в результатах полноценного расчета и расчета по упрощенной схеме

- в упрощенном расчете температура потоков считается одинаковой и неизменной по мере объединения потоков. В реальной схеме это не так, изменение температур и давлений может приводить к изменению соотношения газовой и жидкой фаз, что в свою очередь повлияет на расход высоконапорного входа эжектора и на давление на выходе из каскада
- разные математические модели расчета эжектора. При расчете эжектора в полноценной схеме режим может быть недопустимым, в то время как

упрощенная схема будет полагать, что это не так, и эжектор на таком режиме может оказаться в оптимальном варианте

- разная отсечка критерия сверхзвукового режима, в упрощенной схеме это всегда $P^{high}/P^{low} = 1.5$, в полном расчете выбирается лучший из трех эжекторов – дозвуковой, звуковой или сверхзвуковой.

11.6. Рекомендуемая последовательность создания ИМ

Подготовительные действия для создания ИМ включают в себя:

- формирование таблицы входных данных (давление, расход, доля газа, название) в Excel или текстовом редакторе с табуляцией в роли внутристрочного разделителя
- задание компонент
- создание базового потока для автоматического копирования состава и температуры (если такое копирование имеет смысл или планируется использовать полный расчет эжектора при оптимизации).

Следующие этапы производятся в диалоге создания ИМ.

- добавление джокера (строки с нулевым давлением),
- проверка вариантов LOW, HIGH без оптимизации,

- расчет максимального давления при нулевом давлении в магистрали для схем LOW, HIGH,
- задание давления в магистрали,
- выполнение оптимизации для LOW, HIGH, сравнение результатов,
- редукция потоков если их общее количество приводит к слишком большому количеству итераций,
- добавление джокеров и повторное выполнение оптимизации, если количество потоков позволяет это сделать.

Редукция выполняется путем объединения некоторых из входных потоков на этапе формирования входных данных. Оценку давления после объединения потоков рекомендуется выполнять с помощью диалога ИМ.

Выбранный вариант генерируется в виде расчетной схемы. Далее следует провести анализ результатов расчета и сопоставить полученные результаты по давлениям с оценкой в диалоге ИМ.

Если выбранный вариант имеет каскад с неработающим эжектором, то дальнейшие действия могут включать

- Изменение расходов и газовых долей для получения другого оптимального варианта,

- Объединение потоков или разделение потока,
- Ручная настройка схемы через фиксированный сценарий.

11.7. Пример создания ИМ

Ниже приведена таблица с исходными данными.

Давление	Расход	Доля газа	Название
117.7	2000	0.81	10201
117.6	10000	0.8	10202
149.1	7600	0.8	10203
137.5	15300	0.81	10204
200	8300	0.78	10205
130.9	6900	0.81	10206
125.6	4700	0.82	10207

Так как общее количество потоков с джокером равно 8, то варианты LOW и HIGH дают одинаковый результат с $P = 126\text{атм}$ и 100% расхода. Поток с минимальным давлением не встречает на своем пути достаточно сильный поток, чтобы вместо смесителя смог работать эжектор, и определяет тем самым выходное давление.

Gfinal=54800(100%), Pfinal= 125.513 (k=0), lowpressure scheme, SORTED

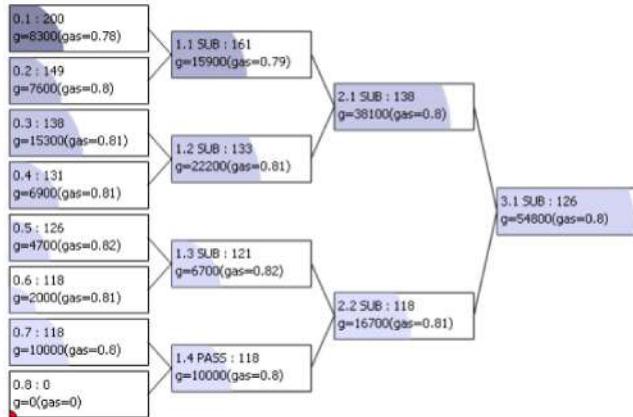


Рис.11.7.14 Вариант без оптимизации, входные потоки отсортированы по давлению

В варианте с оптимизацией два самых слабых потока смешиваются посредством эжекторов с наиболее сильными и поэтому выходное давление больше – 131атм (рис.11.7.15).

Gfinal=54600(100%), Pfinal= 131.146 (k=0), lowpressure scheme, OPTIM

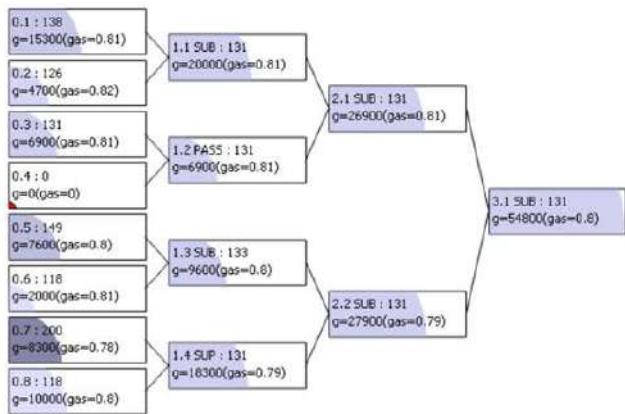


Рис.11.7.15 Вариант с оптимизацией

Таким образом, верхняя оценка для давления будет 131атм. При давлении в магистрали выше оной, найти подходящий вариант со 100% выходом в рамках

данных процедур оптимизации не удастся. Если давление в магистрали ниже полученного значения, то решение уже найдено.

На рисунках 11.7.16-19 показаны оптимальные варианты при разных значениях давления отсечения, по мере его роста постепенно снижается процент выхода: 130атм – 100%, 135атм – 78%, 140атм – 57%, 150атм – 33%, 160атм – 29%. В случае 135атм отбрасываются потоки 118атм, джокер не используется. В следующем варианте отброшенными оказались 4 слабейших потока. В варианте 150атм отброшенным оказался мощный поток на 135атм, вместо него был использован поток с более низким давлением (118атм) и с меньшим расходом. В последнем варианте объединяются только 2 потока с самым большим давлением.

Сгенерированная схема ИМ (рис.11.7.20) для однокомпонентной смеси (метан, 50°C) не является работоспособной, так как на одном из эжекторов высоконапорное давление оказалось ниже низконапорного. После ручной коррекции схемы – замены высоконапорного и низконапорного входов для данного эжектора и следующего за ним, выходное давление составило 132атм (рис.11.7.21), что хорошо соотносится с предсказанным. В оптимальной схеме в двух местах смешиваются потоки с близкими давлениями, что, вместе с погрешностями упрощенного расчета, и привело к необходимости корректировать схему.

Если же использовать полноценный расчет эжектора при оптимизации, то получается несколько измененная расчетная схема (рис.11.7.22-23), которая дает такое же выходное давление, что и скорректированная (рис.11.7.21). Полученная схема является работоспособной. В качестве опорного задавался поток с давлением, равным 150атм.

Следует отметить, что даже полноценный расчет эжектора при оптимизации не

гарантирует точное предсказание выходного давления эжектора, так как при данном расчете не происходит определение состояния потока и не учитывается зависимость C_p и C_v от давления. Данная зависимость, особенно при большой разнице высоконапорного и низконапорного давлений, приводит к погрешности в несколько процентов, что может являться причиной возникновения ситуаций, как в случае с исходной оптимальной схемой (рис.11.7.20).

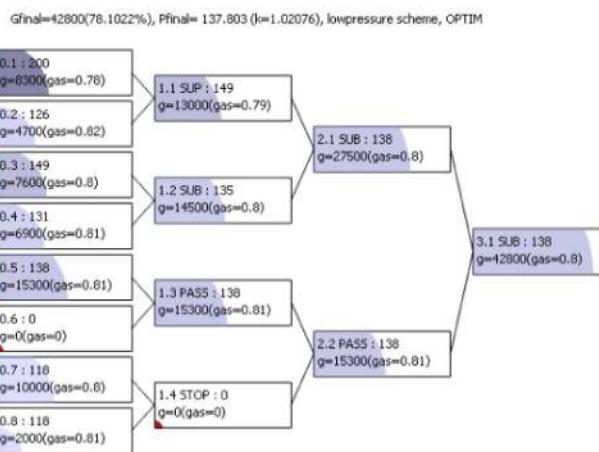


Рис.11.7.16 Вариант LOW с оптимизацией и давлением отсечки 135атм

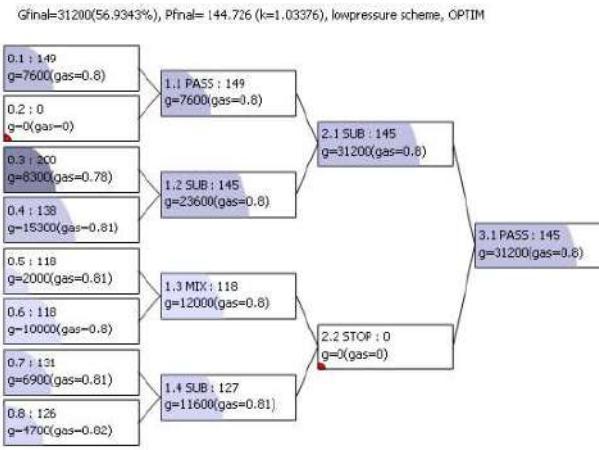


Рис.11.7.17 Вариант LOW с оптимизацией и давлением отсечки 140атм

Gfinal=17900(32.6642%), Pfinal= 150.166 (l=1.00111), lowpressure scheme, OPTIM

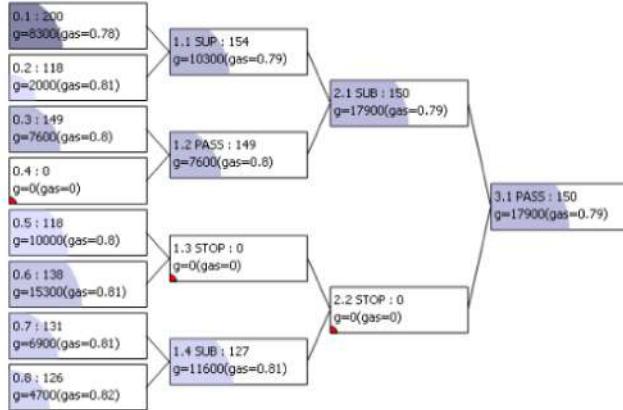


Рис.11.7.18 Вариант LOW с оптимизацией и давлением отсечки 150атм

Gfinal=15900(29.0146%), Pfinal= 160.994 (l=1.00621), lowpressure scheme, OPTIM

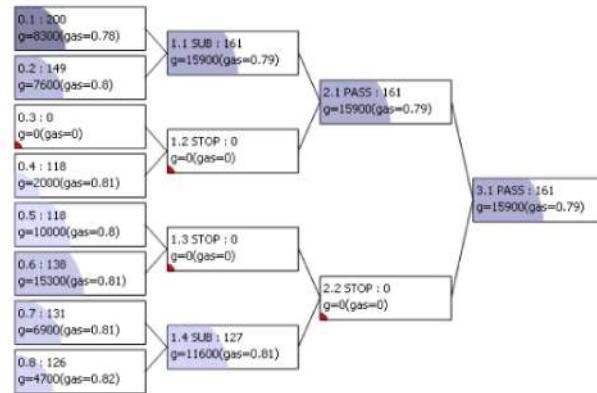


Рис.11.7.19 Вариант LOW с оптимизацией и давлением отсечки 160атм

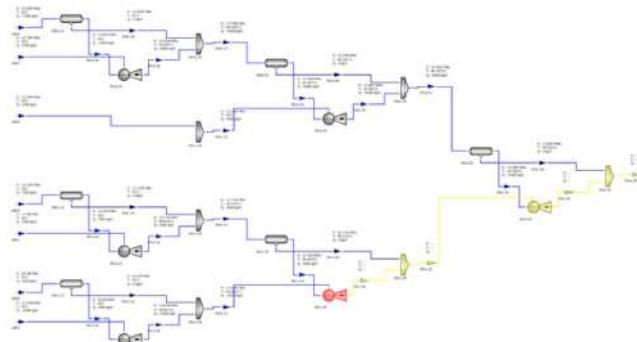


Рис.11.7.20 Сгенерированная схема ИМ по варианту с максимальным давлением на выходе

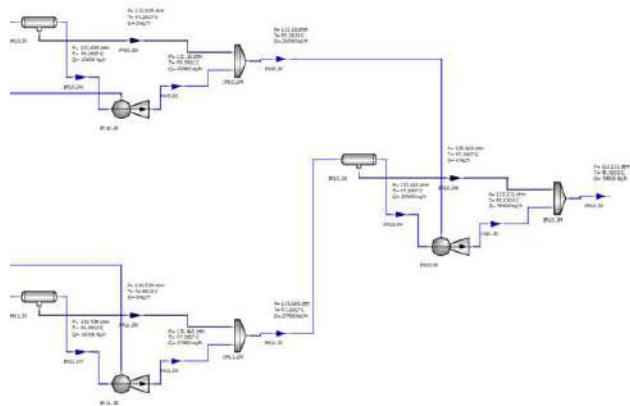


Рис.11.7.21 Коррекция расчетной схемы

Gfinal=54800(100%), Pfinal= 131.187 (k=0), lowpressure scheme, OPTIM

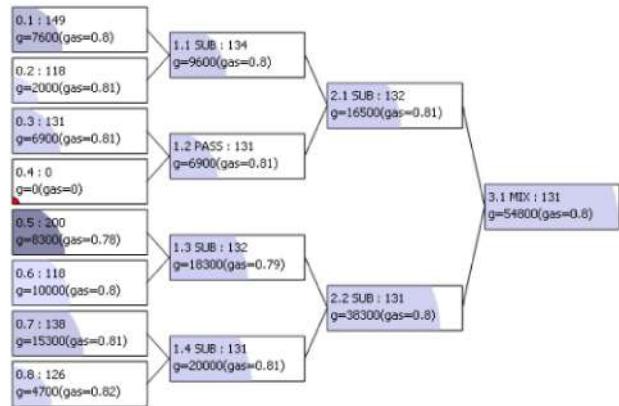


Рис.11.7.22 Оптимальная схема при полноценном расчете эжектора

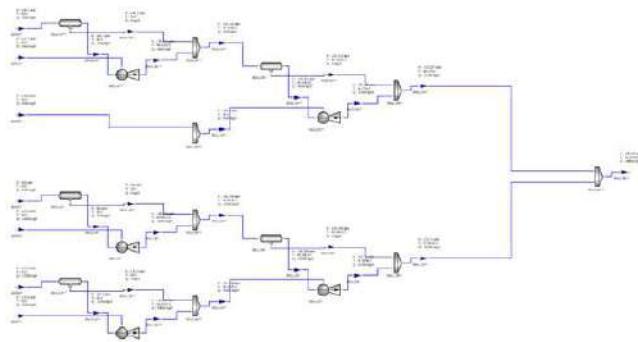


Рис.11.7.23 Сгенерированная оптимальная схема для рис.11.7.22.

12. Список литературы

- [1] Леонтьев А.П., Беев Э.А. *Расчет аппаратов воздушного охлаждения*, учебное пособие, 2000г.
- [2] Виноградов С.Н., Таранцев К.В., Виноградов О.С. *Выбор и расчет теплообменников*, 2001
- [3] Приданцев А.С., Амирова С.С., Сагдеев А.А., Тухватова А.Т. *Пластинчатые теплообменники*, 2010г.
- [4] Абрамович Г.Н. *Прикладная газовая динамика*. 1991
- [5] Chorng H. Twu. *An internally consistent correlation for predicting the critical properties and molecular weights of petroleum and coal-tar liquids*, 1984
- [6] Идельчик И.Е. *Справочник по гидравлическим сопротивлениям*, 3-е издание, 1992
- [7] Гужов А.И. *Совместный сбор и транспорт нефти и газа*. М.: Недра, 1973
- [8] *Sizing and Selection / Valtek*
- [9] Brill J., H. Beggs, *Two-phase flow in pipes*, 6th edition, 1991
- [10] https://wiki.pengtools.com/index.php?title=Beggs_and_Brill_correlation
- [11] Мусеев Б. В., Земенков Ю. Д., Налобин Н. В., Земенкова М. Ю., Дудин С. М. *Методы теплового расчета трубопроводов различного назначения*.
- [12] ru.wikipedia.org/wiki/Продуктивность_(нефтедобыча)
- [13] Безносиков А. Ф., Забоева М. И., Синцов И. А., Остапчук Д. А. *Разработка и эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений*
- [14] Jelinek J. *The calculation of multistage equilibrium separation problems with various specifications*. 1987