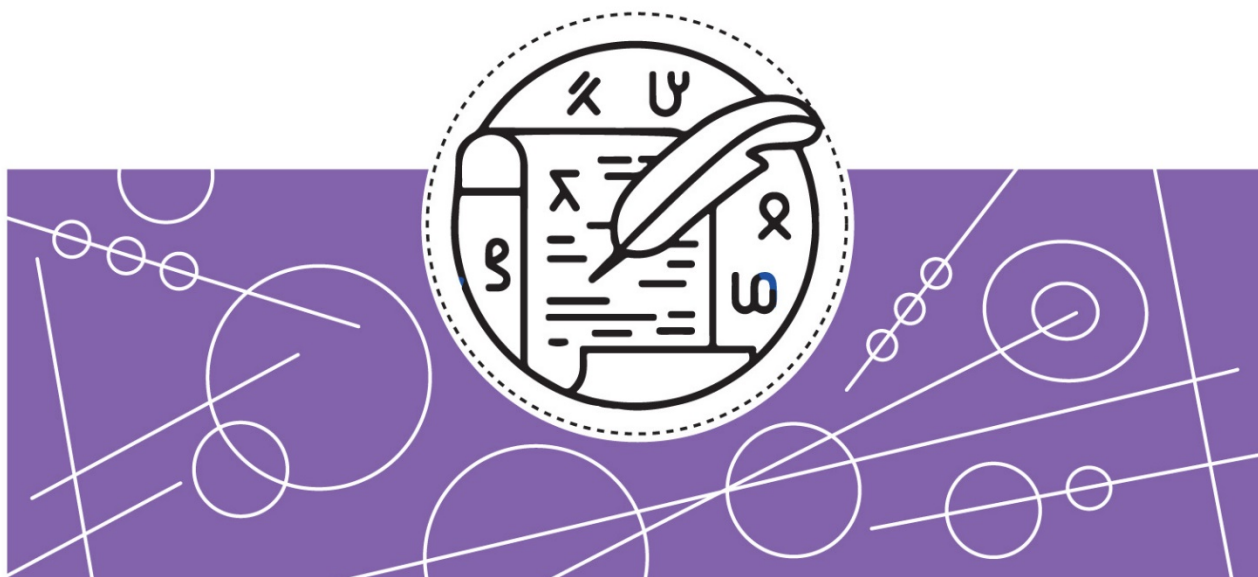


ІІТМО

А.С. Хрёкин

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ И ОБОРУДОВАНИЯ
ГАЗОПЕРЕРАБОТКИ В ASPEN HYSYS:
СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И ПРАКТИКИ**



САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2026

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

А.С. Хрёкин
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ И ОБОРУДОВАНИЯ
ГАЗОПЕРЕРАБОТКИ В ASPEN HYSYS:
СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И ПРАКТИКИ

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

РЕКОМЕНДОВАНО К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ В УНИВЕРСИТЕТЕ ИТМО
по направлению подготовки 16.04.03 Холодильная, криогенная техника и
системы жизнеобеспечения
в качестве Учебно-методического пособия для реализации основных
профессиональных образовательных программ высшего образования
магистратуры

ИТМО

Санкт-Петербург
2026

Хрёкин А.С., Моделирование технологических процессов и оборудования газопереработки в Aspen HYSYS: современные методы и практики— СПб: Университет ИТМО, 2026. – 42 с.

Рецензент(ы):

Кожухов Юрий Владимирович, кандидат технических наук, доцент, доцент (квалификационная категория "ординарный доцент") образовательного центра "Энергоэффективные инженерные системы", Университета ИТМО.

В лабораторных работах, представленных в настоящем учебно-методическом пособии, предназначенном для студентов Университета ИТМО, обучающимся по направлению подготовки 16.04.03 «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения» рассматриваются основы статического моделирования турбодетандерной установки с колоннами дегидратации и деэтанации и детальное описание работы колонного аппарата и трёхфазного сепаратора; проводятся экономическая оптимизация технологических схем и динамический анализ компрессорных узлов. Теоретический блок освещает алгоритмы Aspen HYSYS, принципы анализа и многосхемную организацию моделей с разными пакетами термодинамических свойств. Дополнительно в настоящем пособии даны рекомендации по диагностике расчётных ошибок, улучшению сходимости и интерпретации результатов, что обеспечивает переход от идеализированных схем к промышленно-релевантным решениям.



ИТМО (Санкт-Петербург) — национальный исследовательский университет, научно-образовательная корпорация. Альма-матер победителей международных соревнований по программированию. Приоритетные направления: IT и искусственный интеллект, фотоника, робототехника, квантовые коммуникации, трансляционная медицина, Life Sciences, Art&Science, Science Communication.

Лидер федеральной программы «Приоритет-2030», в рамках которой реализуется программа «Университет открытого кода». С 2022 ИТМО работает в рамках новой модели развития — научно-образовательной корпорации. В ее основе академическая свобода, поддержка начинаний студентов и сотрудников, распределенная система управления, приверженность открытому коду, бизнес-подходы к организации работы. Образование в университете основано на выборе индивидуальной траектории для каждого студента.

ИТМО пять лет подряд — в сотне лучших в области Automation & Control (кибернетика) Шанхайского рейтинга. По версии SuperJob занимает первое место в Петербурге и второе в России по уровню зарплат выпускников в сфере IT. Университет в топе международных рейтингов среди российских вузов. Входит в топ-5 российских университетов по качеству приема на бюджетные места. Рекордсмен по поступлению олимпиадников в Петербурге. С 2019 года ИТМО самостоятельно присуждает ученые степени кандидата и доктора наук.

Содержание

Введение.....	4
Моделирование турбодетандерной установки в статическом режиме.....	5
Углубленное моделирование колонного аппарата. Лабораторная работа № 1	15
Детальное моделирование сепаратора. Лабораторная работа № 2.....	24
Оптимизация экономических показателей технологического процесса. Лабораторная работа № 3	28
Детальное моделирование работы компрессора в динамическом режиме. Лабораторная работа № 4.....	32
Список источников.....	41

Введение

Моделирование технологических процессов является неотъемлемой составляющей при проектировании в современной химической газо- и нефтеперерабатывающей промышленности. Aspen HYSYS широко признан и является отраслевым стандартом для моделирования установок переработки углеводородов, предлагая интегрированную среду, поддерживающую как стационарное, так и динамическое моделирование в рамках единой термодинамической структуры. Aspen HYSYS основан на вычислениях, управляемых событиями, в сочетании с автоматизированным анализом степеней свободы, необходимыми для сходимости данных вычислений.

Единый термодинамический базис обеспечивает согласованность между стационарным и динамическими режимами. Многоблочная архитектура программного обеспечения позволяет одновременно использовать несколько термодинамических пакетов свойств в рамках одной модели. Технологические операции в Aspen HYSYS классифицируются в соответствии с их функцией. Физические операции выполняют термодинамические расчеты. Логические операции предназначены для обеспечения взаимосвязи между переменными, выходящими за рамки отдельных моделируемых установок (или единиц оборудования). Специализированные динамические блоки позволяют расширить анализ до переходных процессов, а также исследовать реакцию процесса на возмущения и возможные сбои.

В пособии рассматривается турбодетандерная установка с последовательным расчетом основного технологического оборудования, применением логических операций, как в стационарном, так и в динамическом режимах симуляции. Также показана возможность экономической оптимизации, и в заключении показан принцип работы с компрессорным оборудованием для анализа его работы в переходных процессах.

Данное учебно-методическое пособие предназначено для формирования компетенций в области промышленного моделирования у магистрантов по дисциплине «Моделирование технологических процессов производства, хранения и транспортировки сжиженного природного газа», обучающихся по направлению подготовки 16.04.03 «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения». В ходе выполнения представленных лабораторных работ обучающийся повысит уровень практических навыков работы с Aspen HYSYS, выявления целевых характеристик рассматриваемых объектов моделирования, а также освоит действия в нештатных ситуациях при работе с компрессорным оборудованием.

Моделирование турбодетандерной установки в статическом режиме

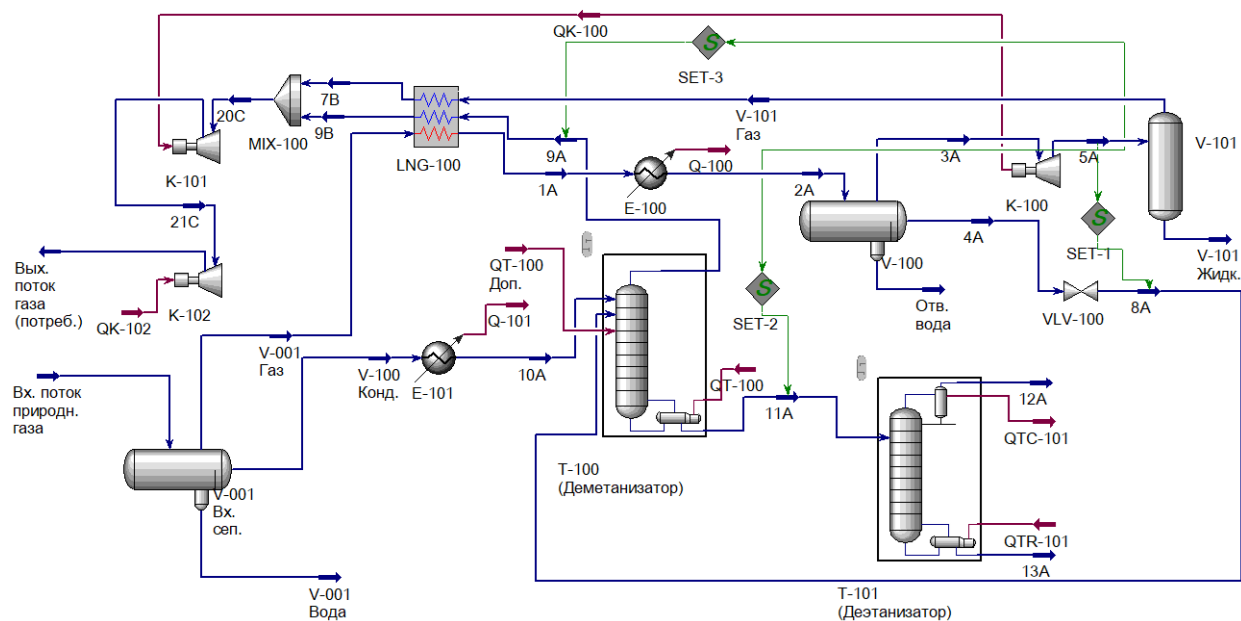


Рисунок 1 – Общая схема моделируемой установки

1. Настройка среды свойств:

- 1) создайте новый файл в Aspen HYSYS,
- 2) в разделе "Component List" добавьте компоненты согласно Рисунку 2

Компонент	Тип	Группа
Methane	Чистый компонент	
Ethane	Чистый компонент	
Propane	Чистый компонент	
i-Butane	Чистый компонент	
n-Butane	Чистый компонент	
i-Pentane	Чистый компонент	
n-Pentane	Чистый компонент	
n-Hexane	Чистый компонент	
n-Heptane	Чистый компонент	
n-Octane	Чистый компонент	
H2O	Чистый компонент	
Nitrogen	Чистый компонент	
CO2	Чистый компонент	

Рисунок 2 – Список компонентов

3) перейдите во вкладку "Пакеты флюида" и выберите подходящий пакет свойств, руководствуясь информацией из таблицы 1.

Таблица 1 – Наиболее распространенные термодинамические модели и пакеты свойств в Aspen HYSYS [1]

Пакет/Модель	Описание и применение
Уравнения состояния (для углеводородных систем)	
Peng-Robinson (PR)	Стандартное уравнение для расчета фазового равновесия (пар-жидкость) и плотности жидкостей. Модификации: - PRSV: для неидеальных систем - Sour PR: для кислых газов (H_2S/CO_2) с моделью API
Soave-Redlich-Kwong (SRK)	Альтернатива PR для систем пар-жидкость. Менее надежно для неидеальных систем. Модификация: Sour SRK (для кислых сред).
BWRS	32-членное уравнение для высокоточного расчета систем под давлением, включая процессы сжатия.
Kabadi-Danner	Специализированная модификация пакета Соаве-Редлиха-Квонга для систем с использованием воды и углеводородов (при условии низкой концентрации углеводородов).
Модели активности (для полярных компонентов и сложных смесей)	
NRTL	Универсальная модель для систем: - Пар-жидкость - Жидкость-жидкость - Трехфазных систем. Подходит для компонентов с разными температурами кипения.
UNIQUAC	Статистическая модель для тех же типов равновесия, что и NRTL. Не требует дополнительных параметров.
Wilson	Модель на основе локального состава. Не применяется для систем, содержащих две жидкие фазы.
Van Laar	Модель для смесей с использованием воды, спиртов, при условии низкого давления. Подходит для азеотропных смесей.
Margules	Модель для неидеальных смесей, подходит в качестве оценочной проверки, сравнения данных.
Chien-Null	Гибридная модель: комбинирует разные методы для пар компонентов.
Специализированные пакеты	
Amine Pkg	Модель для очистки газов от H_2S/CO_2 растворами аминов (совместимость с AMSIM).
OLI Electrolyte	Расчет равновесий и реакций в растворах электролитов (кислоты, соли, щелочи).
ASME Steam	Таблицы свойств воды/пара (стандарт ASME 1907 г.).
NBS Steam	Таблицы свойств воды/пара (стандарт NBS 1984 г.).

Glycol Pkg	Модель TST для процессов осушки газов гликолями (например, ТЭГ).
MEWR (BWRS)	Модифицированная версия уравнения Бенедикта-Вебба-Рубина с целью повышения точности в условиях низких темпер и высоком давлении. Для систем с газом и прочими легкими углеводородами.

Для данного процесса подходит термодинамический пакет Peng-Robinson.

4) Перейдите во вкладку "Моделирование" для создания схемы.

2. Задание входного потока:

параметры потока (*Вх. поток природн. газа*):

- температура: 22 °C,
- давление: 3500 кПа,
- расход: 4145 кмоль/ч,
- состав (таблица 2)

Таблица 2 – состав входного потока

Компонент	Мольн. доли
CH ₄	0,4130
C ₂ H ₆	0,1640
C ₃ H ₈	0,1150
C ₄ H ₁₀ (и-бутан)	0,0430
C ₄ H ₁₀ (н-бутан)	0,0310
C ₅ H ₁₂ (и-пентан)	0,0300
C ₅ H ₁₂ (н-пентан)	0,0289
C ₆ H ₁₄	0,0280
C ₇ H ₁₆	0,0189
C ₈ H ₁₈	0,0174
H ₂ O	0,0980
N ₂	0,0110
CO ₂	0,0018

3. Трехфазный сепаратор.

Из палитры моделей оборудования добавьте трехфазный сепаратор (V-001) для разделения входящего потока на газ, конденсат и воду.

4. Настройка теплообменника LNG.

- 1) из палитры моделей оборудования добавьте теплообменник (LNG-100 многопоточный теплообменник),
- 2) во вкладке "Проект | Подключения" укажите входные/выходные потоки и падение давления,
- 3) перейдите на вкладку "Проект | Спецификац. (SS)":
 - параметр "Степени свободы" должен показывать значение 6 (7 неизвестных – 1 ограничение),

- добавьте 2 новые спецификации:
 - 1-я спецификация: одинаковая температура на выходе для двух потоков холодной стороны,
 - 2-я спецификация: минимальная разность температур между горячим и холодным потоками теплоносителей (ΔT) = 10 °C.

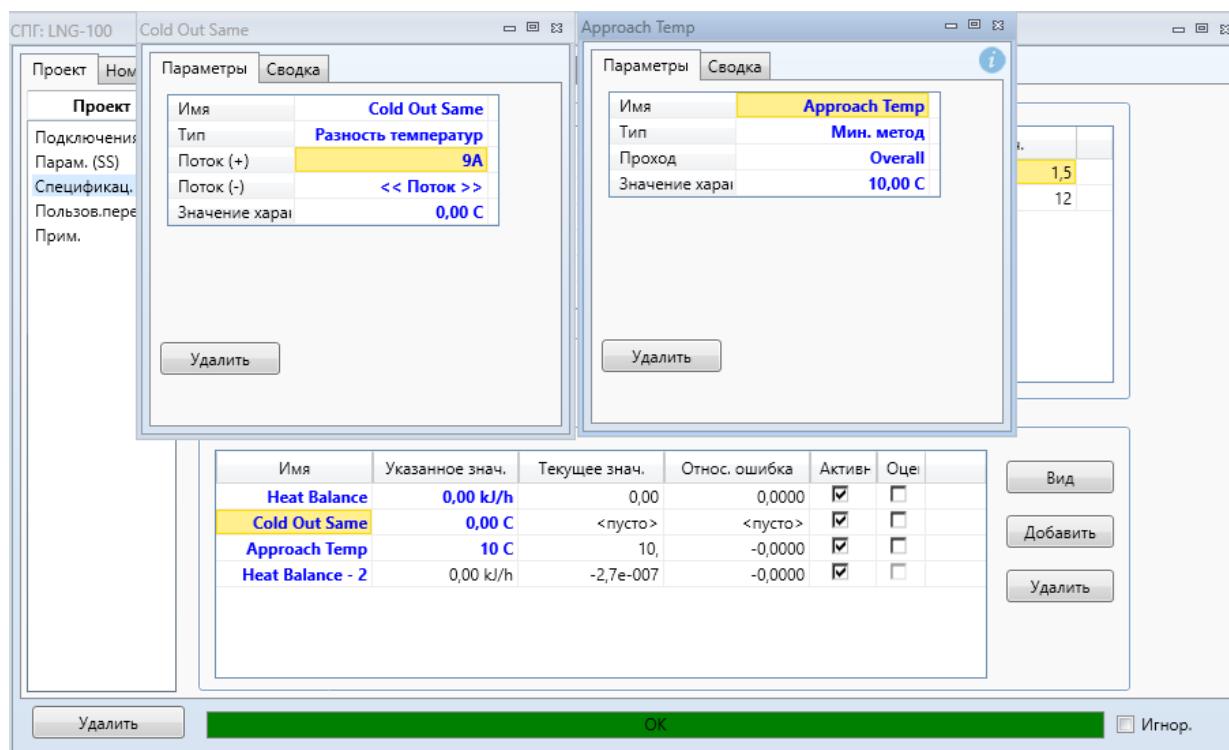


Рисунок 3 – Параметры теплообменника LNG-100

- убедитесь, что для обеих спецификаций выбран флаг "Активный",
- после добавления степеней свободы станет 4. Они будут определены по мере добавления элементов в схему и получения расчетных данных потоков. Не вносите дополнительные настройки в теплообменник.

Если во вкладке "Проект | Спецификац. (SS)" включен флажок Оцен., программа использует значение как начальное приближение. Для контроля изменений переменных можно отключить Активный и Оцен.

5. Настройка охладителя E-100.

Добавьте Охладитель (E-100) из палитры моделей и задайте следующие параметры:

- соединения:
 - вход: поток 1A,
 - выход: поток 2A,

энергетический поток: $Q-100$.

- параметры:
перепад давления: 25 кПа.
- рабочий лист:
температура потока 2А: -62 °С.

6. Моделирование системы разделения.

Добавьте ряд оборудования из палитры со следующими характеристиками:

1) трехфазный сепаратор V-100:

- вход: поток 2А (из охладителя),
- выходы:
газ: поток 3А (на турбодетандер),
легкая жидкость: поток 4А (на клапан),
тяжелая жидкость: поток *отв. вода*.

2) турбодетандер К-100:

- вход: поток 3А (газ из V-100),
- выход: поток 5А,
- энергетический поток: $QK-100$,
- давление на выходе: 2800 кПа.

3) двухфазный сепаратор V-101:

- вход: поток 5А (из турбодетандера),
- выходы:
газ: поток *V-101 Газ*,
жидкость: *V-101 Жидк.*

7. Включение в схему ЗРА:

1) добавьте клапан из палитры (VLV-100):

- входной поток 4А,
- выходной поток 8А.

2) затем добавьте из палитры логический блок "Set":

- в качестве целевой переменной задайте давление потока 8А,
- в качестве исходного объекта давление потока 5А,
- укажите параметры множителя – 1 и отклонения – 0 кПа.

Логический блок позволяет фиксировать целевую переменную (в данном случае давление потока) в зависимости от исходного давления. Это способствует исключению ручных операций для корректировки значений в процессе симуляции [2].

8. Настройка охладителя E-101:

1) добавьте охладитель E-101 из палитры моделей и задайте следующие параметры:

- соединения:
вход: поток *V-101 Конд*,
выход: поток *10A*,
энергетический поток: *Q-101*,
- параметры:
давление: 2790 *кПа*,
температура -85 °C.

2) логический блок "Set":

- в настройках подключений задать условие равенства давлений потока *11A* и *5A*,
- давление потока *9A* на 35 *кПа* меньше давления потока *5A*.

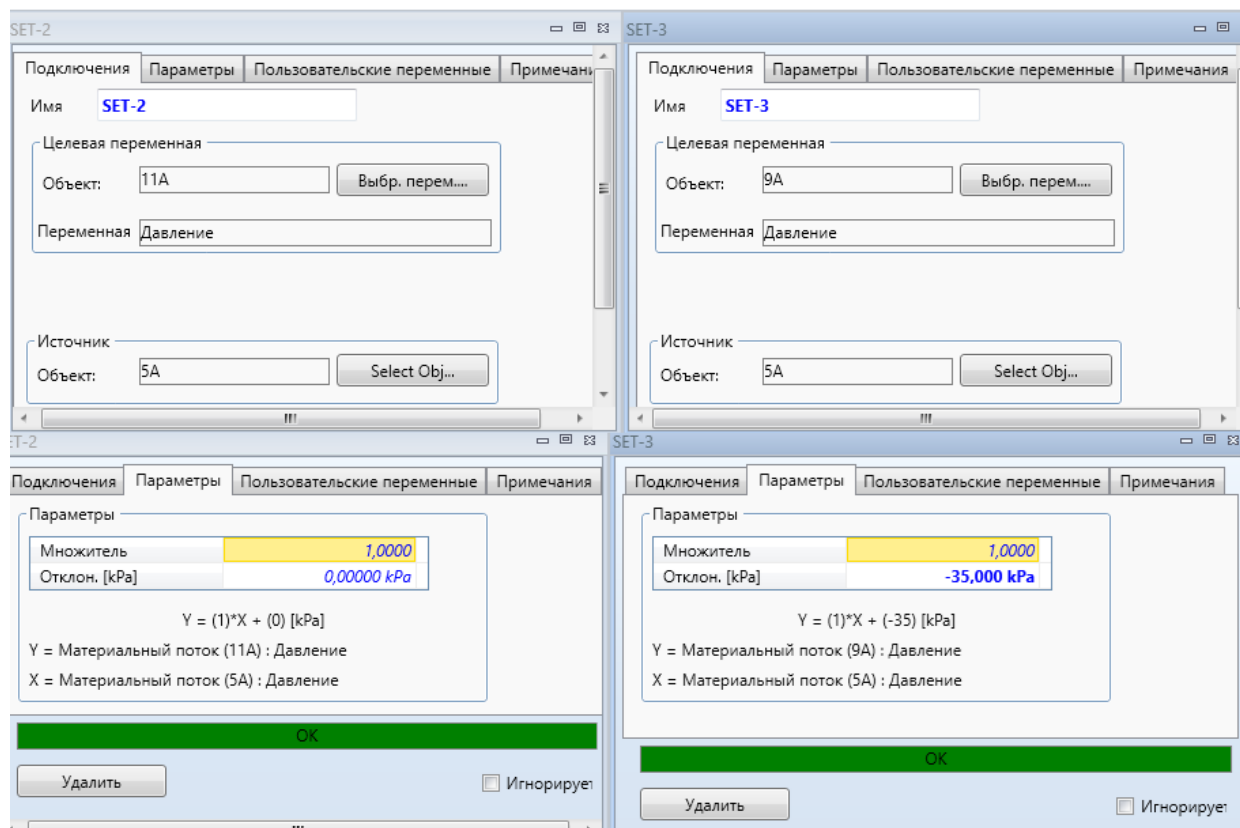


Рисунок 4 – Настройка логических блоков "Set"

9. Колонна-деметанизатор Т-100:

1) добавьте колонну из палитры моделей (тип: абсорбционная колонна с ребойлером). Базовые параметры (Эксперт ввода колонны):

- число тарелок: 10,
- потоки:

вход сырья: поток 10А (верхний ввод), поток 8А (тарелка 2),
 выход: 9А (дистиллят), 11А (кубовый продукт),
 энергетический поток: QT-100 (ребойлер).

2) конфигурация оборудования:

- тип ребойлера: с однократной циркуляцией,
- давление: автоматически указывается через ранее заданные операции "Set".

3) дополнительные настройки:

- боковая тепловая нагрузка (QT-100 Доп.):
 значение: $3,3 \cdot 10^5$ кДж/ч,
 подключение: тарелка 4 (через "необязательные входящие потоки"),

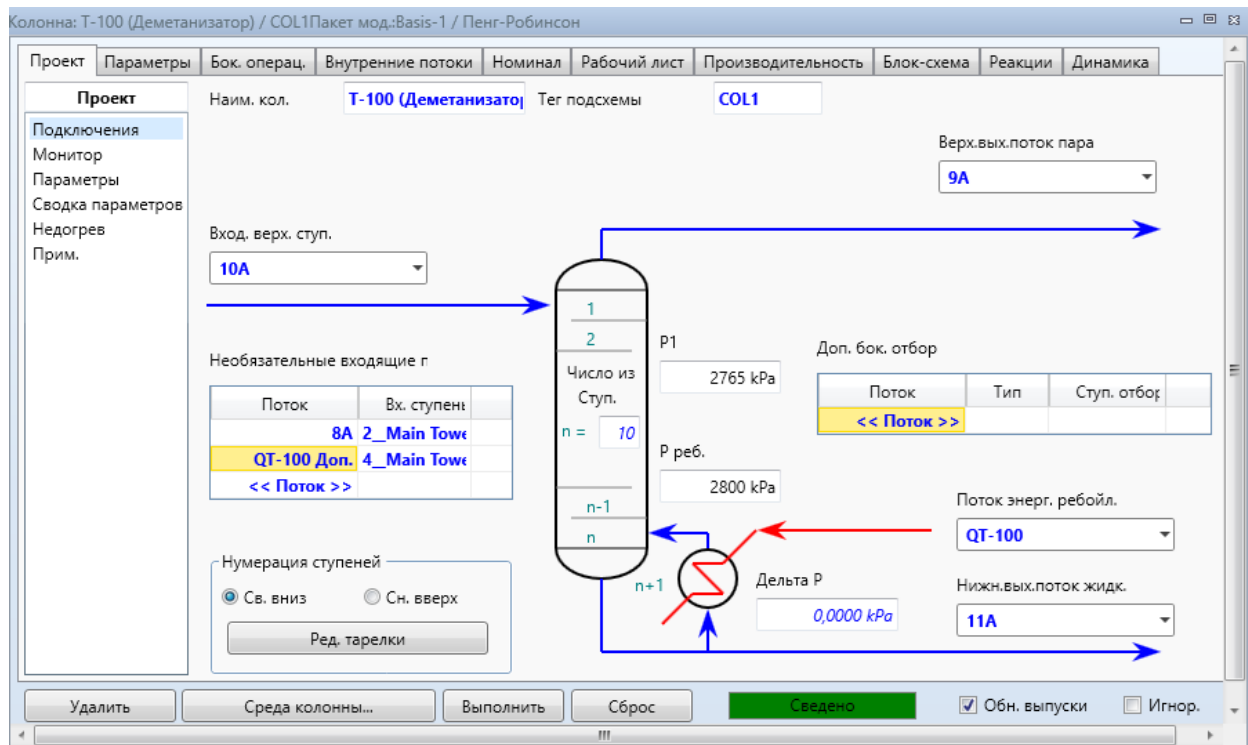


Рисунок 5 – Дополнительный тепловой поток колонны-деметанизатора

- параметр "Проверка двух жидкостей": без проверки (на вкладке "Параметры | Решатель").

4) спецификации:

- первичная: Ovhd Var Rate задать 800 кмоль/ч,
- основная: давление паров по Рейду (RVP) задать 1380 кПа (активировать после добавления, сняв активацию с первичной спецификации расхода, сделать ее оценочной, автоматически-созданные спецификации можно удалить).

5) запуск и контроль расчета колонны-деметанизатора T-100, проверка степеней свободы:

- после ввода всех данных значение "Степени свободы" должно быть 0.

Если расчет не сошелся:

- проверить корректность подключения потоков,
- убедиться, что все спецификации активны и имеют допустимые значения.

1. Особенности подмодели колонны:

- изолированный расчет (не требует пересчета всей схемы),
- возможность использования отдельного термодинамического пакета,
- одновременное решение уравнений (в отличие пошагового расчета).

2. Спецификация давления паров по Рейду:

- обеспечивает гибкость модели при изменении нагрузки,
- более стабильна, чем спецификация по расходу.

3. Диагностика:

- окно трассировки (Trace) показывает:
ход расчета,
предупреждения и ошибки,
рекомендации по улучшению сходимости.

10. Колонна-деэтанализатор T-101:

1) добавьте колонну из палитры моделей (тип: дистиляционная колонна).

Базовые параметры (Эксперт ввода колонны):

- число тарелок: 16,
- потоки:
вход: 11A (тарелка 7),
выход: 12A (дистиллят), 13A (куб),
энергетический поток конденсатора: QTC-101, ребойлера:
QTR-101.

2) конфигурация оборудования:

- тип ребойлера: с однократной циркуляцией,
- тип конденсатора: с полным флегмовым потоком,
- давление в конденсаторе: 2730 кПа (перепад 20 кПа),
- давление в ребойлере: 2785 кПа (перепад 0 кПа).

3) спецификации:

- флегмовое число (Reflux Ratio): 3.0,
- содержание пропана в кубовом остатке (Comp Recovery): 0,95, мольн. дол. (поток 13A).

4) запуск расчета:

- после ввода всех данных значение "Степени свободы" должно быть 0.

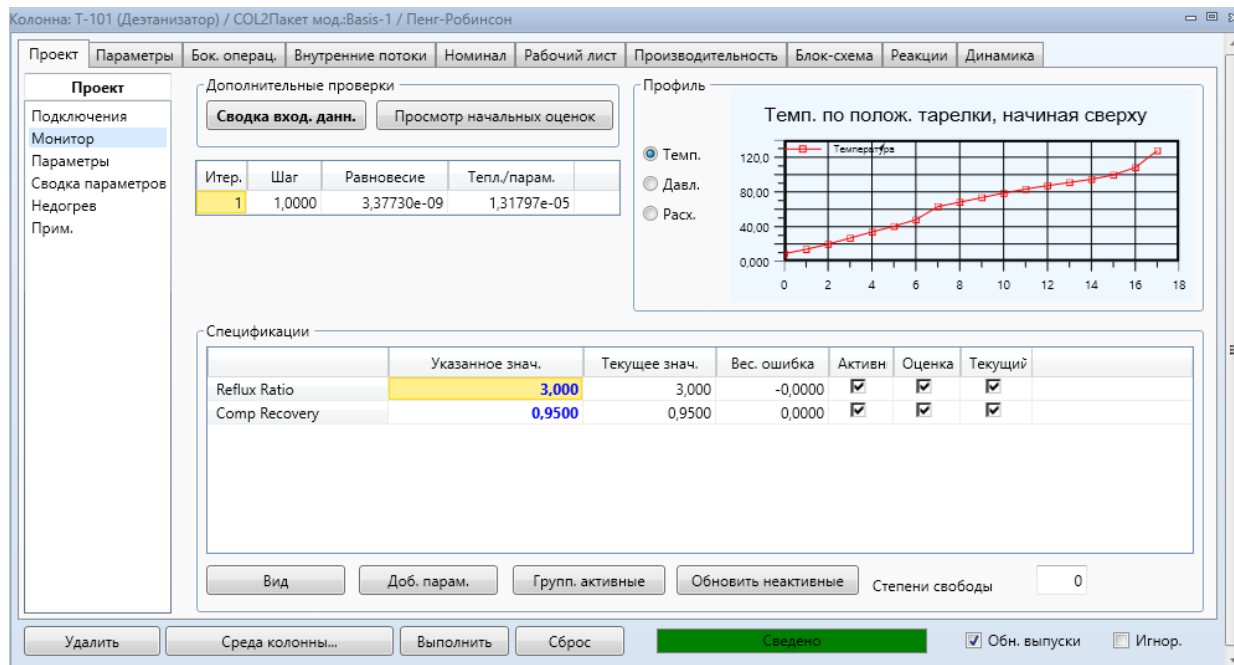


Рисунок 6 – Спецификация колонны-деэтанализатора. Степени свободы

11. Завершение технологической схемы:

1) миксер MIX-100:

- вход: 9В, 7В,
- выход: 20С.

2) компрессоры:

- К-101:
энергетический поток: QK-100 (от турбодетандера К-100).
- К-102:
вход: 21С,
выход: Вых. поток газа (потреб.),
энергетический поток: QK-102,
давление на выходе: 6000 кПа.

Для компрессоров могут быть заданы различные параметры: расход, давление или характеристики кривых (будет рассмотрено далее).

Завершение: сохраните файл модели.

Вопросы для самопроверки

1. Почему для данной модели был выбран термодинамический пакет Peng-Robinson? Какие его особенности важны для моделирования углеводородных систем?
2. Какие факторы учитываются при выборе типа конденсатора для колонны-деэтанизатора? Почему был выбран конденсатор с полным флегмовым потоком?
3. Какова мольная доля метана в потоке 9A и мольное содержание этана в потоке 12A?
4. Почему в спецификации колонны используется давление паров по Рейду для кубового продукта? Какие технологические параметры это позволяет контролировать?
5. Какие преимущества дает использование подмодели колонны ("Среда колонны") по сравнению с моделированием в основной схеме?
6. Почему для разных аппаратов в одной модели могут использоваться разные термодинамические пакеты? Как это влияет на точность расчетов?

Предыдущие шаги позволили создать упрощенную модель процесса, обеспечивающую первое приближение по материальному и энергетическому балансу. Несмотря на то, что данный вид моделирования полезен для первоначальной оценки, он не обладает достаточной степенью точности, которая необходима для практических проектных расчетов.

Необходимо перейти к более детальному моделированию, которое учитывает особенности механической конструкции аппаратов. Для колонны-деэтанизатора это, в первую очередь, тип контактных устройств с заданием геометрии, при этом теплообменное оборудование (конденсатор и ребойлер) будет моделироваться отдельно. Трехфазный сепаратор также потребует более детального задания геометрических параметров и внутренних устройств.

Кроме того, рассмотрим моделирование компрессора при различных предустановленных в HYSYS сценариях, таких как аварийные остановки из-за отключения электроснабжения, неисправность байпасного клапана в схеме и пр.

Углубленное моделирование колонного аппарата. Лабораторная работа № 1

Цель работы: настройка геометрических параметров и внутренних контактных устройств колонны для корректировки идеализированной модели и ее приближения к промышленному оборудованию.

Порядок выполнения:

1. Модификация конфигурации
 - изменение конфигурации конденсатора,
 - настройка конфигурации ребойлера.
2. Параметры разделения и гидравлический расчет
 - корректировка КПД тарелок,
 - выбор типа контактных устройств,
 - ввод геометрических параметров,
 - анализ нагрузок по жидкости/пару и гидравлического сопротивления.

Краткие теоретические сведения и последовательность моделирования

Изменение конфигурации конденсатора

Исходная конфигурация конденсатора в Aspen HYSYS, представляющая собой идеализированную модель, интегрирующую функции теплообмена и фазового разделения, обладает существенными ограничениями при необходимости детального проектирования оборудования. В соответствии с методическими указаниями, переход на раздельное моделирование обусловлен следующими техническими требованиями:

- необходимостью точного определения конструктивных параметров теплообменного аппарата,
- требованием к моделированию реальных рабочих сред, в частности, специфического состава хладагента, точных термодинамических параметров, фактического расхода,
- возможностью последующего анализа эффективности теплообмена через коэффициент теплопередачи, логарифмическую среднюю разность температур и пр.

Методика "Внутренних потоков" обеспечивает экспорт парового потока с верхней тарелки без нарушения материального баланса колонны. При этом сохраняется возможность использования стандартного конденсатора в подмодели колонны параллельно с детализированной моделью на основной схеме.

1. Откройте ранее сохраненный файл модели ("сценария") установки для модификации конфигурации конденсатора.

2. В колонне-деэтанализаторе перейдите во вкладку "Блок-схема | Внутр. потоки"; добавьте внутренний паровой поток:
 - имя: *На конд.*,
 - тарелка: 1_Main Tower,
 - тип: Varior,
 - отмечаем "Эксп." (поток появится на основной схеме).
3. На основной схеме добавьте теплообменник ET-101:
 - трубное пространство:
 - вход: *На конд.*,
 - выход: *Конденсат*.
 - межтрубное пространство:
 - вход: *Вх. хладоносит.*,
 - выход: *Вых. хладоносит.*
 - параметры:
 - модель: прост. взвеш.,
 - ΔP труб: 20 кПа,
 - ΔP кожуха: 7 кПа.
4. Задайте параметры хладагента (*Вх. хладоносит.*):
 - состав (мольные доли):
 - C_3H_8 : 0.95,
 - C_2H_6 : 0.05.
 - параметры:
 - доля пара: 0 (жидкость),
 - давление: 260 кПа,
 - расход: 880 кмоль/ч.
5. Добавьте и настройте операцию Set:
 - цель: температура "Конденсат" = температуре "12A@COL2",
позволяет определить тепловую нагрузку.
6. Добавьте двухфазный сепаратор VT-101:
 - вход: *Конденсат*,
 - выходы:
 - пар: *Пар. фаза T-101*,
 - жидкость: *Дистиллят T-101*.

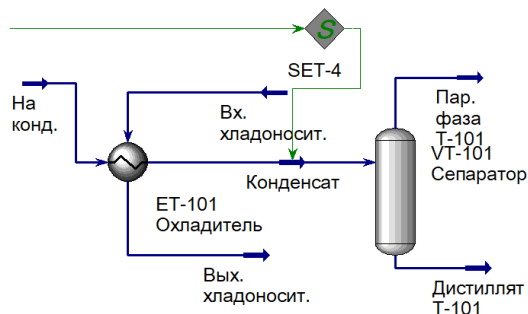


Рисунок 7 – модификация конфигурации конденсатора колонны-деэтанатора T-101

Изменение конфигурации ребойлера

Стандартная конфигурация ребойлера в Aspen HYSYS, реализованная как идеализированный аппарат без учета гидравлических потерь, не позволяет выполнять детальные инженерные расчеты. Однако замена на теплообменник с насосом позволяет учесть реальные гидравлические характеристики; задать теплоноситель и проанализировать рабочие параметры ($\Delta T_{\min}$, доля отгона).

1. Откройте среду колонны-деметанизатора.
2. Измените метод расчета:
 - перейдите во вкладку "Параметры | Решатель",
 - выберите "Измененный метод HYSIM изнутри-наружу",
 - запустите пересчет колонны.
3. В среде колонны удалите существующий ребойлер и тепловой поток *QT-100*.
4. Добавьте насос:
 - $\Delta P = 75$ кПа,
 - вход *To Reboiler*,
 - выход *Pump Out*.
5. Добавьте теплообменник E-100:
 - задайте параметры пара: 200°C, 1500 кПа,
 - установите ΔP : 75 кПа (кожух), 50 кПа (трубное пространство).
6. Установите сепаратор V-100:
 - подключите вход *Reboiler Out*,
 - настройте выходы: *Boilup* (пар), *11A* (жидкость).

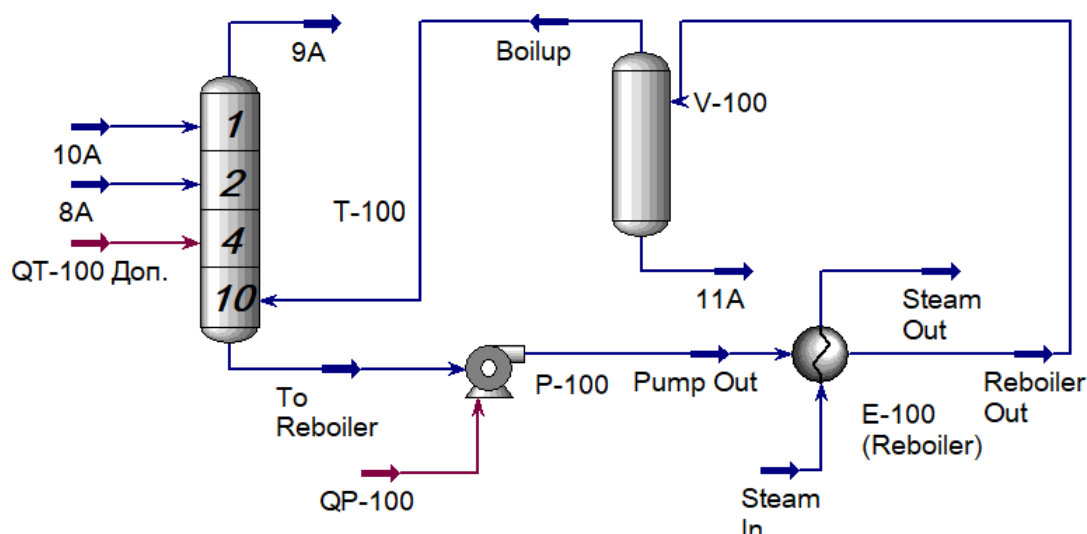


Рисунок 8 – Модификация конфигурации ребойлера колонны-деметанизатора T-100

7. Вернитесь в основную среду модели, добавьте спецификацию: давление паров по Рейду:
 - $RVP = 1380$ кПа,
 - ступень V-100.
8. Активируйте спецификацию E-100 Heat Balance (Нагрузка).
9. Настройте параметры решения:
 - погрешность равновесия: $1 \cdot 10^{-6}$,
 - допуск теплового баланса: $5 \cdot 10^{-5}$.
10. Запустите расчет.

В случае возникновения ошибки Consistency Error перезапустите решатель.

Изменение эффективности тарелок

В качестве базовой модели расчета для колонного оборудования в ПО Aspen HYSYS используется концепция теоретических ступеней (на каждой ступени достигается парожидкостное равновесие). Однако на практике эффективность разделения зависит не только от термодинамических, но и от гидравлических ограничений, а также механической конструкции внутренних контактных устройств и физических свойств смеси.

Для приближения модели к реальным условиям работы необходимо учитывать фактическую эффективность тарелок, заданную производителем. Исходя из этого, в пособии принята эффективность 75%, что соответствует клапанным тарелкам при работе с легкими углеводородами. Изменение данного параметра в настройках колонны позволяет получить наиболее приближенные к реальным условиям данные о составе смеси и энергопотреблении.

1. Откройте среду колонны-деэтанализатора
2. Зафиксируйте исходные параметры:
 - перейдите во вкладку "Проект | Монитор",
 - задайте мольную долю этана в дистилляте (поток *I2A*).
3. Скорректируйте эффективность разделения:
 - перейдите во вкладку "Параметры | КПД",
 - выберите все тарелки (ступени конденсатора и ребойлера необходимо исключить),
 - введите значение 0.75,
 - примените изменения ("Задать").
4. Запустите пересчет.
5. Результаты симуляции:
 - изучите новое содержание этана в дистилляте на наличие изменений,
 - оцените изменение мольного расхода,
 - проверьте выполнение спецификаций (давление паров по Рейду, содержание пропана).

Снижение эффективности тарелок негативно влияет на качество разделения. Следовательно, для обеспечения требуемых характеристик выходного продукта может потребоваться изменение других рабочих параметров, таких как флегмовое число или давление в колонне.

Конфигурирование геометрии тарелок и гидравлический анализ

В ПО Aspen HYSYS существует возможность оценки работы внутренних устройств с учетом конструктивных особенностей, в частности диаметра тарелок (или насадок), высоты переливных отверстий, их площадью. Это позволяет встроенным алгоритмам произвести расчет нагрузки по пару и жидкости, коэффициента уноса и пр. При возникновении недопустимых режимов система выдаст соответствующее предупреждение

1. Откройте среду колонны-деэтанализатора, перейдите во вкладку "Внутренние потоки".
2. Создайте новый расчет ("Добавить новый").
3. Выберите тип тарелок (клапанные, BDH).
4. Установите режим "Интерактивная калибровка".
5. Внимательно изучите сообщения об ошибках в соответствующей вкладке:
 - провал жидкости,
 - чрезмерный унос,
 - высокий перепад давления.
6. Скорректируйте параметры:

- количество проходов: 3.
- 7. В случае, если предупреждение по высокому перепаду давления на тарелках 12-16 сохраняется:
 - установите длину колена: 11.13 мм,
 - задайте высоту переливных перегородок: 54 мм.
- 8. Проверьте результаты на вкладке "Результаты":
 - диаметр секции,
 - высота секции,
 - суммарный перепад давления.

Рекомендации к лабораторной работе:

1. Гидравлическая диаграмма должна быть полностью в синей зоне (оптимальный режим).
2. Должны отсутствовать критические сообщения об ошибках.
3. Обеспечьте соответствие технологических требований разделения.

Таблица 3 – Варианты заданий для самостоятельного выполнения лабораторной работы

Вариант	Тип контактного устройства	Дополнительные указания	Полученные характеристики
1	Клапанная тарелка, тип BDP	Выбрать наименьшее подходящее количество проходов	1. Диаметр секции 2. Высота секции 3. Перепад давления
2	Клапанная тарелка, тип BDH	Подбор оптимального количества проходов (не более 2)	1. Диаметр секции 2. Высота секции 3. Перепад давления 4. Оптимальное число проходов
3	Ситчатая тарелка	Устранение провала жидкости: - изменение просвета сливного стакана, - уменьшение площади отверстия к активной зоне.	1. Диаметр секции 2. Высота секции 3. Перепад давления 4. Как устранен провал жидкости, указать значения
4	Регулярная насадка Sulzer, тип 250Y	Анализ эффективности насадки при заданных нагрузках, материал: стандартный	1. Диаметр секции 2. Высота секции 3. Количество пакетов 4. Перепад давления

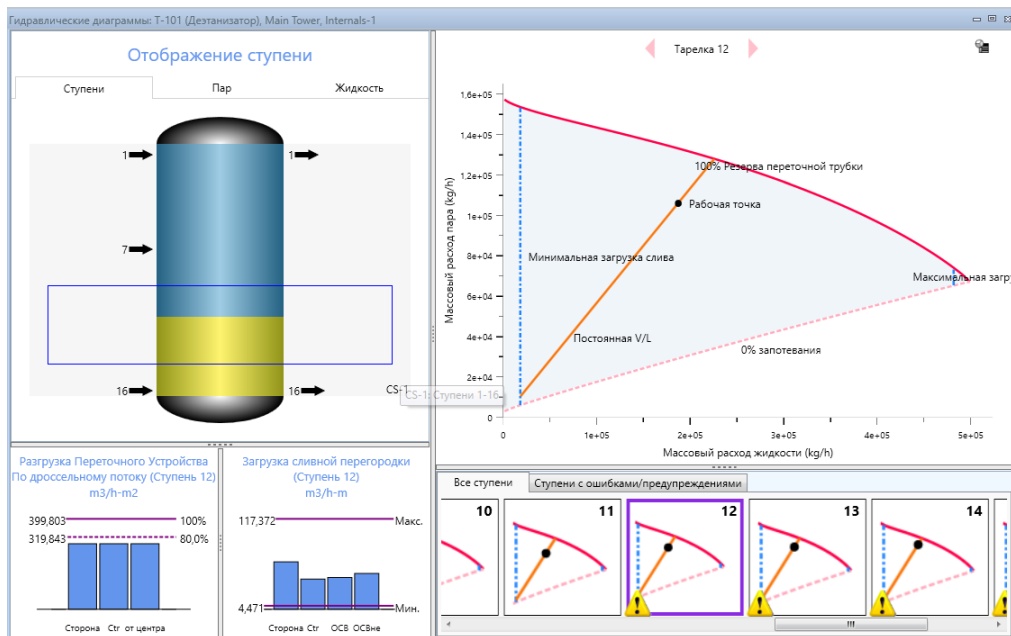


Рисунок 9 – Диаграмма гидравлических нагрузок колонны до изменения конструкции тарелок

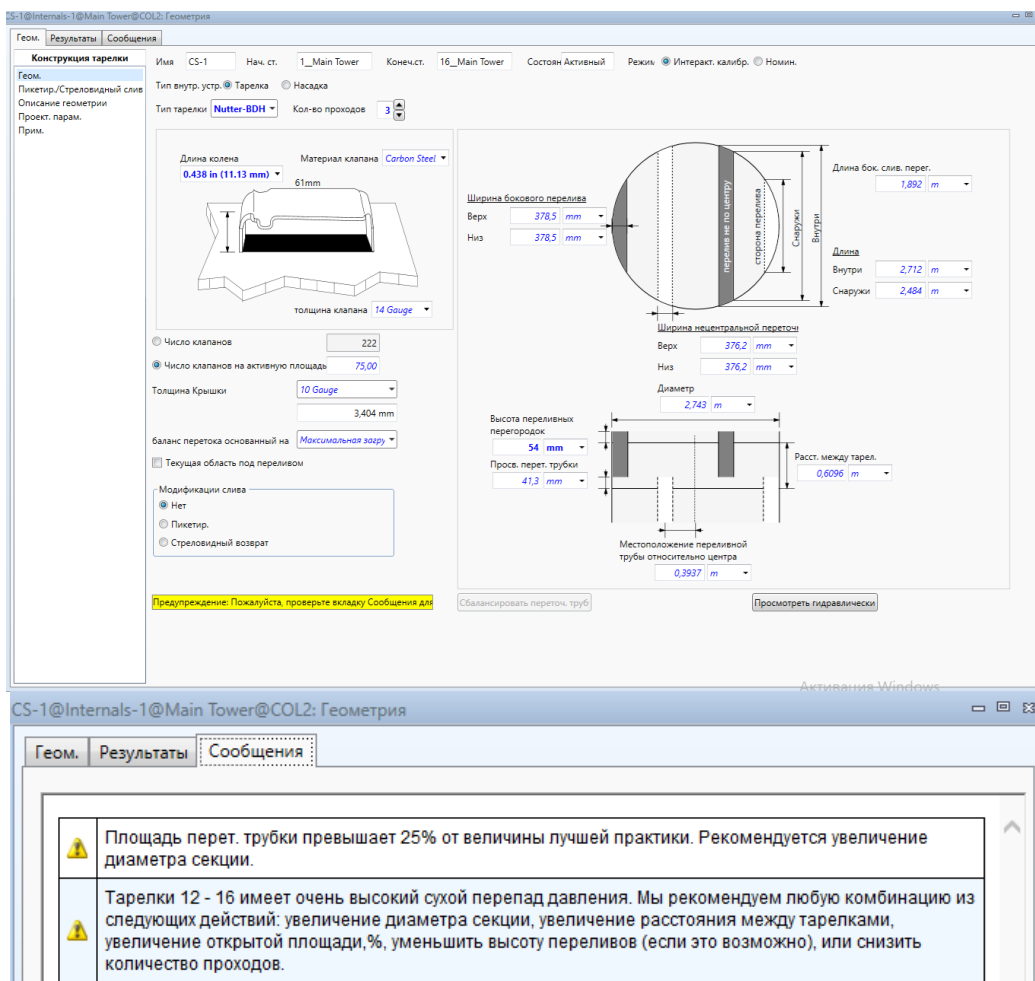


Рисунок 10 – Изменение характеристик клапанных тарелок и журнал ошибок

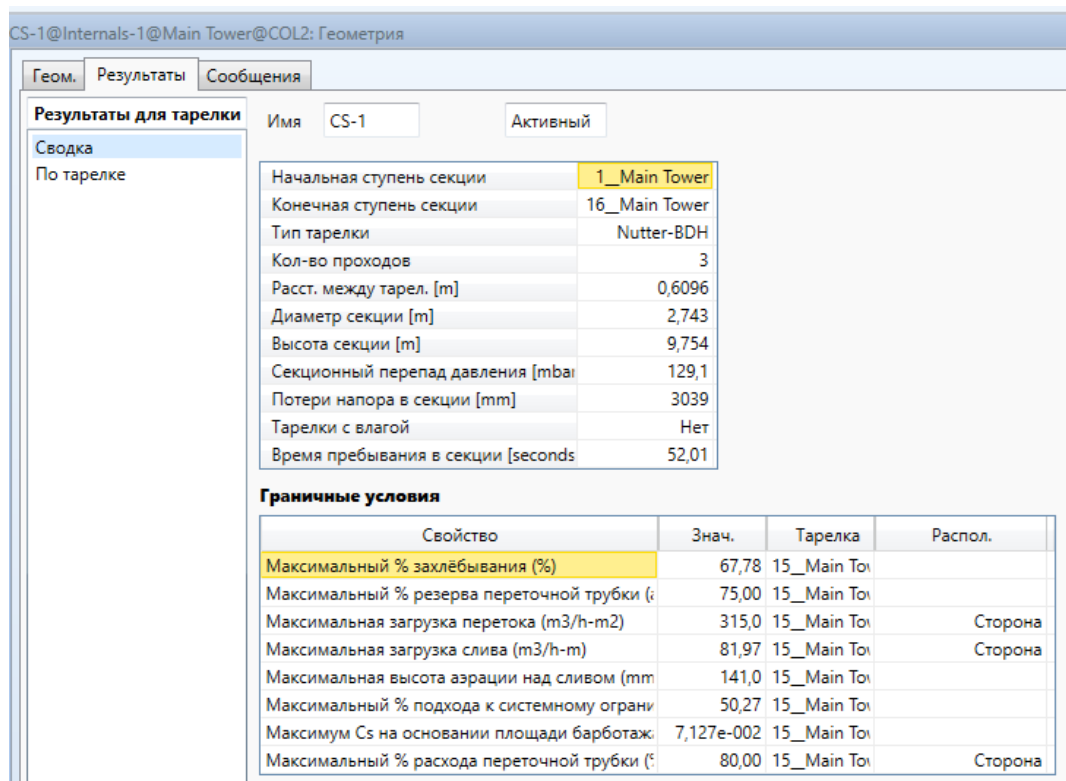


Рисунок 11 – Расчетные характеристики колонны после изменения конструкции тарелок

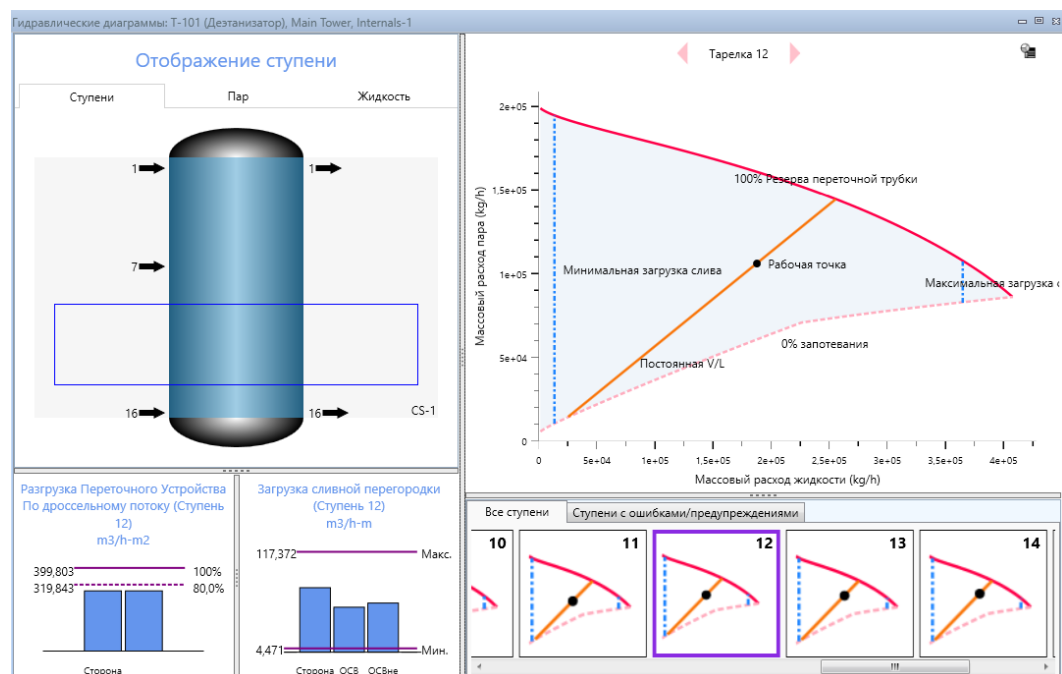


Рисунок 12 – Гидравлическая диаграмма колонны после изменений

Вопросы для самопроверки

1. Почему стандартная реализация конденсатора и ребойлера в Aspen HYSYS недостаточна для детальных расчетов?
2. Почему при замене ребойлера требуется восстановить спецификацию давление паров по Рейду?
3. Какие преимущества даст использование функции внутренних потоков при моделировании теплообменных аппаратов?
4. Как цветовая индикация тарелок помогает анализировать работу колонны?
5. Какие гидродинамические ограничения учитываются при переходе от теоретических к реальным тарелкам?
6. Как выбор количества проходов в тарелках влияет на рабочие характеристики колонны?
7. Какие технологические параметры становятся определяющими при выборе типа контактного устройства?

Детальное моделирование сепаратора. Лабораторная работа № 2

Цель работы: настройка детальных параметров трехфазного сепаратора для приближения модели к реальному оборудованию.

Порядок выполнения:

1. Базовое моделирование уноса фаз.

Исследование принципов моделирования неидеального разделения фаз в сепараторе. Анализ влияния заданного уноса легкой и тяжелой жидкости с газовой фазой на материальный баланс. Определение ключевых параметров для описания разделения.

2. Применение корреляционных методов расчета уноса.

Сравнительное исследование различных корреляционных подходов к определению степени уноса (базовой расчетной методики и комплексного алгоритма Profes). Анализ точности прогнозирования дисперсного состава фаз при использовании различных корреляций.

3. Оптимизация конструкции сепаратора с внутренними устройствами.

Изучение влияния конструктивных модификаций на эффективность сепарации. Анализ параметров сетчатого каплеуловителя для достижения требуемой степени очистки газовой фазы от диспергированной жидкости.

Краткие теоретические сведения и последовательность моделирования

При моделировании трехфазного сепаратора в Aspen HYSYS существует возможность задания приближенных к реальным условий разделения. В промышленном сосуде разделение почти никогда не происходит идеально. Взаимодействие жидкостей и газа зависит от характера движения потоков, геометрии сосуда и физических свойств смеси. Перечисленные факторы значительно влияют на эффективность сепарации.

Одной из главных сложностей является унос частиц. Газовый поток уносит с собой мелкие капли жидкости, а сами жидкостные фазы содержат растворенный газ. Количество уносимых частиц зависит от скорости потока, вязкости и плотности жидкостей, геометрических размеров и внутренней конструкции сепаратора, а также таких свойств, как поверхностное натяжение и смачиваемость.

1. Расчет идеального сепаратора:

- откройте файл модели установки и сохраните на отдельном листе свойства потоков из вкладки "Таблица"
- Величину доли пара потока *V-001 Газ* сделайте фиксированной.

2. Параметры уноса:

- модель уноса "Базис продукта"
 - параметры:
 - легкая жидкость в газе: 1650 кг/ч,
 - тяжелая жидкость в газе: 280 кг/ч.
 - Сравните значение доли отгона с ранее сохраненными величинами:
3. Выбор расчетной методики корреляции:
- активировать и указать модель уноса "По корреляции",
 - в качестве основной модели выбрать сепаратор Profes,
 - входные параметры по умолчанию.
4. Геометрические параметры:
- установить горизонтальную ориентацию сепаратора,
 - задать размеры:
 - длина: 5.57 м,
 - диаметр 1.60 м
 - уровень легкой жидкости: 0.80 м.
 - указать расположение штуцеров:
 - Входной поток природн. газа:* 0 м,
 - V-001 Газ:* 5.20 м,
 - V-001 Конд.:* 5.57 м,
 - V-001 Вода:* 4.82 м.

3 фазный сепаратор: Вх. Сеп.

Проект Реакции Номинал Таблица Динамика

Номинал

Опред. размеров
Патрубки
Теплопотеря
Отв. д/изм. уров.
Парам.
Настр. переноса
Рез. переноса

Результаты переноса

Базис продукта Масс.

	Фракция сырья	Фракция в про.	Расход продукт [kg/h]	Масса/объем п [kg/m3]
Легкая жидкость в газе	0,0242	0,0371	1964	1,493
Тяжелая жидкость в газе	0,0000	0,0000	0,2147	1,632e-004
Газ в легкой жидкости	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Тяжелая жидкость в легкой ж	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Газ в тяжелой жидкости	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Легкая жидкость в тяжелой ж	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Всего жидкости в газе	0,0242	0,0371	1964	1,493

Просмотреть результаты дисг

Удалить OK Игнор.

Рисунок 13 – Доля уноса в сепараторе

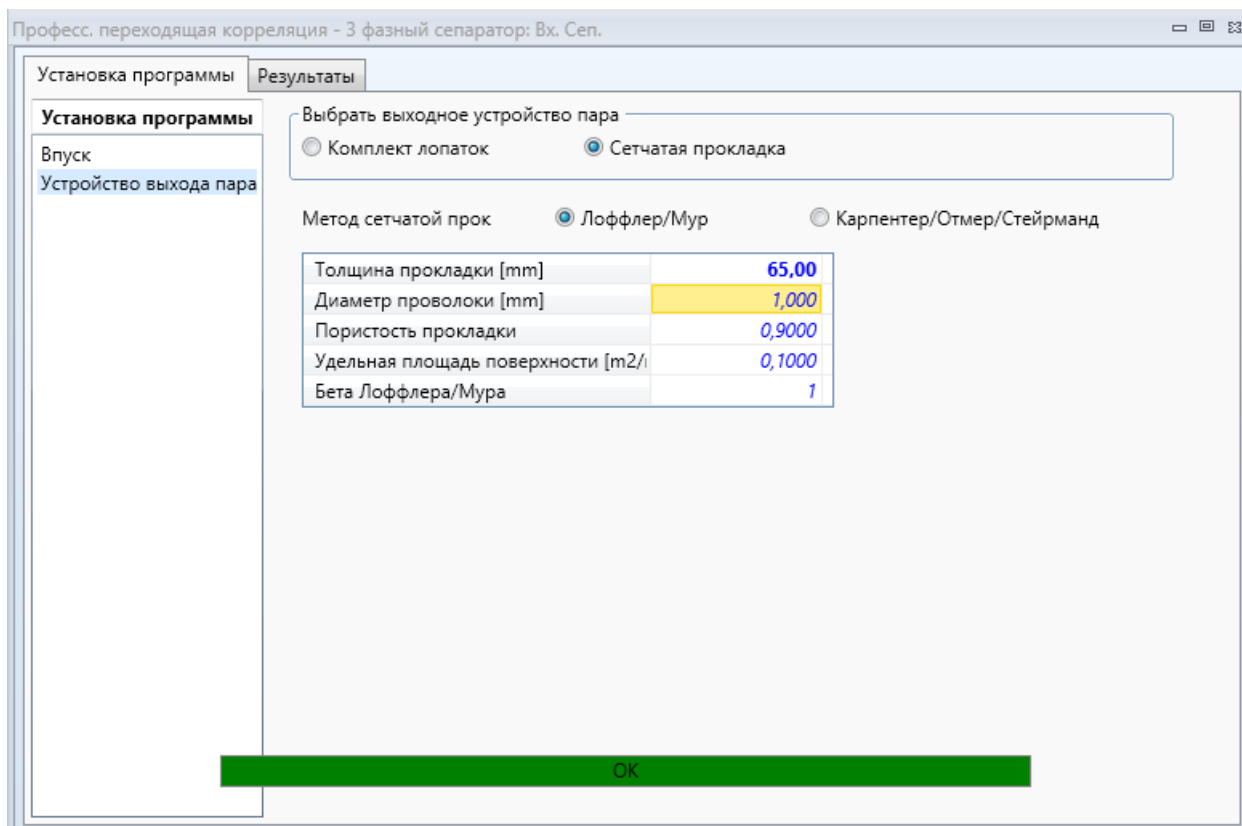


Рисунок 14 – Установка сетчатого каплеуловителя

Оптимизация конструкции сепаратора с внутренними устройствами

1. Настройка каплеуловителя:

- выбрать "Сетчатая прокладка" как выходное устройство,
- установить толщину слоя 65 мм,
- эффективность улавливания капель должна быть не менее 50 мкм.

2. Сохранение результатов:

- зафиксировать параметры работы модернизированного сепаратора,
- сохранить модель.

Указания по выполнению лабораторной работы:

1. Использование корреляции сепаратора Profes.
2. Ориентация сепаратора – горизонтальная.
3. Уровень легкой жидкости: 0,7–0,8 м.

Таблица 4 – Варианты заданий для самостоятельного выполнения лабораторной работы

Вариант	Геометрические параметры	Требуемая эффективность улавливания	Полученные характеристики
1	Длина: 4,5 м Диаметр: 1,4 м	60 мкм	1. Толщина каплеуловителя для 99 % эффективности 2. Точный процент уноса тяжелой фазы
2	Длина: 5,0 м Диаметр: 1,5 м	55 мкм	
3	Длина: 6,0 м Диаметр: 1,8 м	45 мкм	
4	Длина: 7,0 м Диаметр: 2,0 м	40 мкм	

Вопросы для самопроверки

1. Почему стандартная модель идеального сепаратора в HYSYS требует модификации для промышленных расчетов?
2. Как ориентация сепаратора (горизонтальная/вертикальная) влияет на эффективность разделения?
3. Как выбор корреляции (универсальный, горизонтальный сосуд, сепаратор Profes) влияет на точность расчета уноса фаз?
4. Почему корреляция Profes не требует ручного ввода критического размера капли?
5. Каким образом толщина сетчатого каплеуловителя влияет на его эффективность и гидравлическое сопротивление?
6. Какие принципы следует учитывать при проектировании расположения штуцеров в трёхфазном сепараторе?

Оптимизация экономических показателей технологического процесса.

Лабораторная работа № 3

Цель работы: исследование влияния технологических параметров на экономическую эффективность установки разделения с использованием инструментов оптимизации в Aspen HYSYS.

Порядок выполнения:

1. Подготовка модели и настройка точности расчетов по целевым параметрам в теплообменнике LNG и колонном оборудовании
2. Оптимизация и анализ:
 - добавить переменные,
 - настроить целевую функцию и ограничения,
 - запустить оптимизатор, проанализировать результаты.

Краткие теоретические сведения и последовательность моделирования

Основная функция экономических инструментов оптимизации в рамках рассматриваемого технологического процесса заключается в анализе значения прибыли от получаемого выходного продукта и количества затрат. Алгоритм оптимизатора должен работать в рамках реалистичных технологических ограничений, в частности, поддерживая определенное давление в остатках дедетанизатора или соблюдая ограничения мощности детандера.

Для корректной работы оптимизатора необходима настройка электронной таблицы. В качестве исходных данных должны быть настроены ссылки на правильные переменные значения процесса, а также связи между ячейками

1. Откройте файл модели и установите следующие параметры:
 - поток 2A: температура -62 °C,
 - поток 5A: давление 2800 кПа.
2. Корректирование точности расчетов:
 - теплообменник LNG-100: допуск $1 \cdot 10^{-6}$,
 - колонна-дедетанизатор: допуст. погр. ошибки равнов.: $1 \cdot 10^{-6}$,
 - колонна-дедетанизатор:
 - допуст. погр. ошибки тепл./парам.: $1 \cdot 10^{-6}$,
 - допуст. погр. ошибки равнов.: $1 \cdot 10^{-6}$.
3. Настройка переменных:
 - тип оптимизатора: исходный (модель данных),
 - добавить переменные:
 - поток 2A: температура: от -70°C до -40°C,

поток 5A: давление: от 2500 до 3475 кПа.

4. Настройка таблицы:

- создать SPRDSHT-1 и внести следующие данные:
стоимость электроэнергии: 0.05 \$/кВт·ч (ячейка D1),
стоимость газа: 0.2 \$/кг (ячейка D2),
исходные данные по оборудованию (см. Рисунок 14).

ЭлектроннаяТаблица: SPRDSHT-1

Подключения | Параметры | Формулы | Spreadsheet | Порядок вычислений | Пользов.перемен. | Прим.

Тек. ячейка: Перемен.: Экспортируемые ☐ Углы в: Ред-ть столб./стр.

	A	B	C	D
1	Chiller Exit Temp	-61,93 C		5,000e-002
2	Expander Exit Pres...	2800 kPa		0,2000
3				
4	Refrig Comp HP	5079 kW		
5	Export Compresso...	1046 kW		
6	Total Power	6125 kW		306,3
7				
8	LPG Product	8,081e+004 kg/h		1,616e+004
9	Mixed Refrig Temp			1,586e+004
10				

Удалить | Справка по функции... | Только электр. табл. | ☐ Игнор.

Рисунок 15 – Заполненная таблица SPRDSHT-1

- настроить следующие формулы:
затраченная мощность ($B6: = B4 + B5$),
стоимость электроэнергии ($D6: = D1 \cdot B6$),
доход от продажи газа ($D8: = D2 \cdot B8$),
прибыль ($D9: = D8 - D6$).
- во вкладке таблицы оптимизатора добавить переменные:
A1: Поток 2A Температура,
A2: Поток 5A Давление,
A3: Прибыль.
- импортировать в оптимизатор соответствующие значения из SPRDSHT-1.

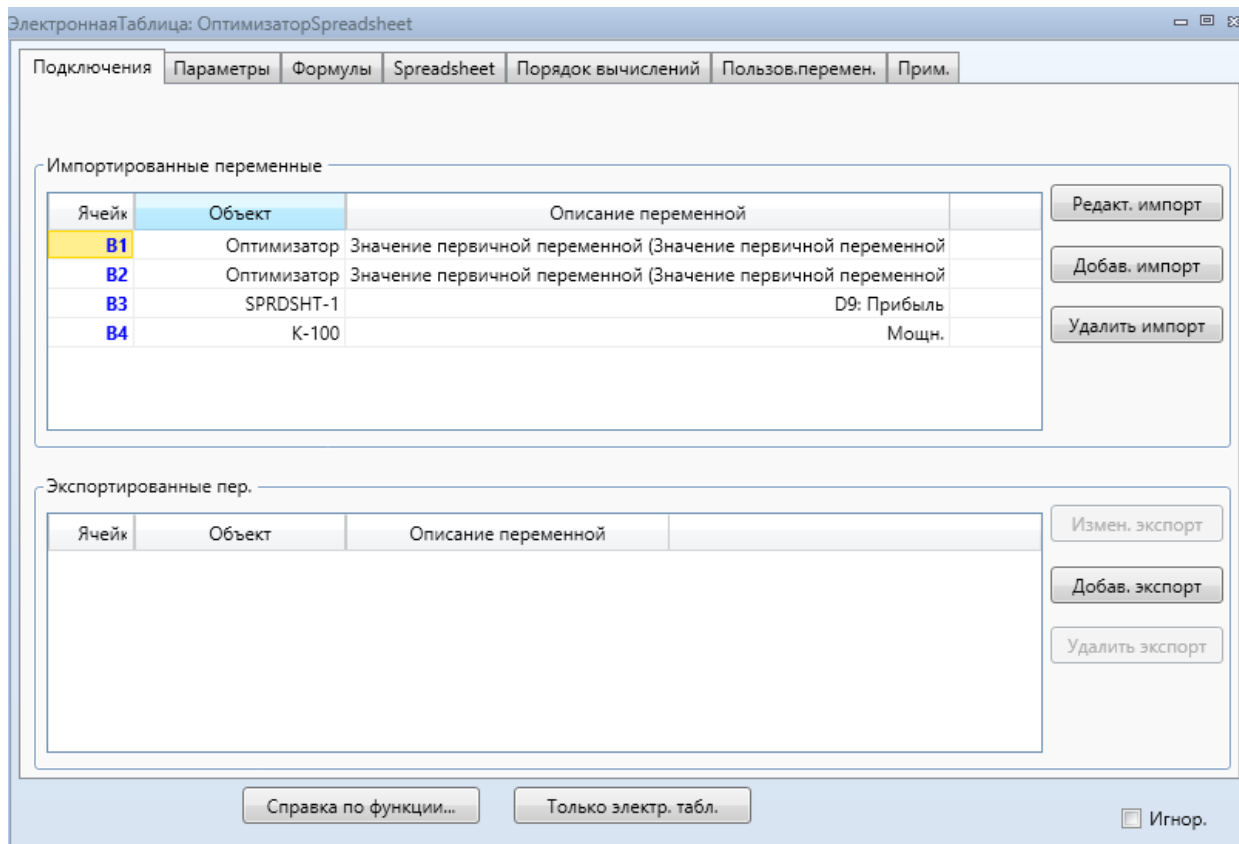


Рисунок 16 – Импортируемые значения в оптимизатор

1. Определение целевой функции и задание ограничений:
 - целевая функция: максимизация прибыли (ячейка B4),
 - ограничения:
 - мощность детандера K-100 ≤ 50 кВт (B6 $\leq$ B7),
 - давление паров по Рейду колонны-деметанизатора: 1380 кПа.
2. Запуск оптимизатора и последующий анализ:
 - схема в параметрах оптимизатора: смешанная,
 - допуск: $1 \cdot 10^{-6}$,
 - для запуска расчетов нажать "Начать", в случае возникновения проблем со сходимостью, повторить расчет,
 - проанализировать и зафиксировать следующие результаты:
 - максимальное значение прибыли,
 - оптимальные значения температуры потока 2A и давления потока 5A,
 - убедиться в сходимости модели.

Оптимизатор не отображается на технологической схеме как отдельный элемент оборудования – это блок, предназначенный для исследований стационарного состояния, его нельзя использовать внутри подсхемы. При настройке оптимизатора необходимо задавать такие границы значений для

основных переменных, чтобы они находились в диапазонах, которые достижимы в моделируемом процессе.

Важно обратить внимание на то, каким образом электронная таблица интерпретирует типы данных: синим цветом отображаются переменные процессы, черным – вычисляемые значения, красным – все производимые вычисления внутри электронной таблицы. Для изменения типа переменной используется выпадающее меню.

В случае возникновения проблем со сходимостью достаточно часто может помочь перезапуск вычислений (п. 2) с момента последней успешной итерации. Также необходимо отметить, что копирование переменных между таблицами переносит только числовые значения, а не связи с исходными переменными процесса.

Таблица 5 – Варианты заданий для самостоятельного выполнения лабораторной работы

Вариант	Давление на выходе из детандера	Полученные характеристики
1	2000-2500 кПа	1. Прибыль 2. Мощность детандера
2	2500-2900 кПа	
3	2900-3200 кПа	
4	3200-3500 кПа	

Вопросы для самопроверки

1. В чем заключается принцип работы итерационных расчетов в Aspen HYSYS?

2. Что понимается под "первичными переменными" в оптимизаторе Aspen HYSYS?

3. Какая цель использования электронной таблицы оптимизатора?

4. В чем разница между целевой функцией (Objective Function) и ограничениями (Constraint Functions) в оптимизаторе?

5. Почему оптимизатор не может использоваться внутри подсхемы и работает только в режиме статики?

6. Почему перед оптимизацией необходимо уменьшать допустимую погрешность?

Детальное моделирование работы компрессора в динамическом режиме. Лабораторная работа № 4

Цель работы: Изучение динамических режимов работы центробежного компрессора в Aspen HYSYS, включая анализ помпажа, настройку системы защиты и моделирование аварийных сценариев.

Порядок выполнения:

1. Подготовка модели, настройка характеристик компрессора
2. Анализ в динамическом режиме:
 - запуск сценариев,
 - оценка устойчивости и срабатывания защиты.
3. Фиксирование результатов:
 - анализ графических данных и сообщений об активации элементов схемы.

Краткие теоретические сведения и последовательность моделирования

В данной лабораторной работе рассматриваются инструменты Aspen HYSYS Dynamics [3] для оценки области устойчивой работы компрессора. Одна из наиболее практичных функций инструмента – возможность перехода от стационарного режима к динамической модели с использованием минимального набора дополнительных входных данных.

Основная часть анализа заключается в изучении напорной характеристики компрессора при различных режимах работы и определении зависимостей при изменении параметров работы оборудования рассматриваемой схемы подключения. Данные схемы разработаны в качестве стандартных шаблонов сценариев, которые будут рассмотрены в работе. Также имеются встроенные инструменты визуализации, которые упрощают возможность контроля за различными параметрами процесса в режиме динамической симуляции. Данный режим моделирования необходим для настройки рабочих параметров компрессора и проверки необходимых систем защиты (отключения электропитания, закрытия клапана на линии нагнетания и пр.) до внедрения оборудования в промышленную эксплуатацию.

Подготовка модели

1. Открыть стартовый файл модели.
2. Перейти к настройкам компрессора:
 - проверить наличие четырех рабочих характеристических кривых,
 - во вкладке "Пределы расх." задать:

кривую помпажа (минимальные расходы для каждой скорости вращения ротора),
режим запираания (максимальные расходы для каждой скорости вращения ротора).

3. Активировать кривые работы компрессора.

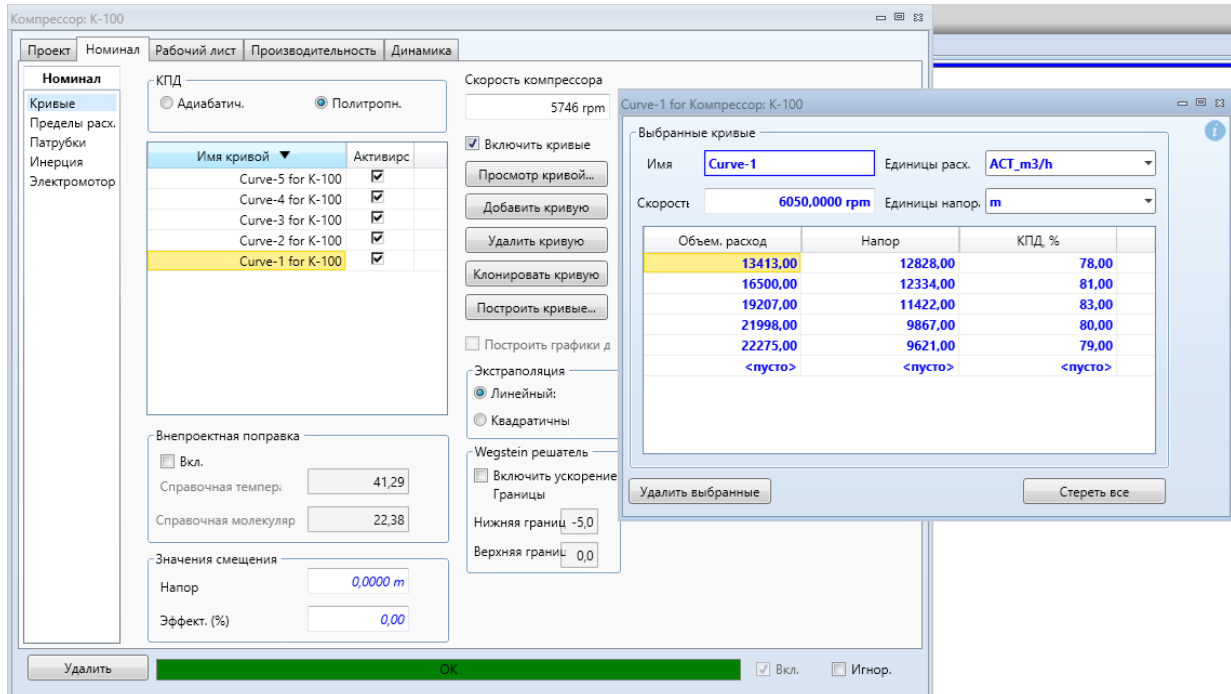


Рисунок 17 – Газодинамические характеристики компрессора

Анализ в динамическом режиме

1. Активировать модуль анализа помпажа:

- добавить модуль анализа для компрессора (Анализ → Нагнетание компрессора → Добавить), выбрать добавленный компрессор, подтвердить активацию динамического режима,
- перейти в подсхему управления ("Ввод блок-схемы").

2. Настроить и запустить сценарии:

- проверить корректность отображения рабочих кривых: кривой помпажа (Surge) и блокирования (Stonewall),
- просмотреть предустановленные диагностические графики,
- выбрать сценарий "Общая потеря мощности" (отключение электроэнергии),
- запустить интегратор для моделирования (Динамика → Запуск).

3. Исследовать влияние параметров:

- изменения коэффициента пропускной способности (K_v клапана),
- запуска моделирования при разных значениях K_v .

4. Фиксировать реакцию системы при каждом значении.

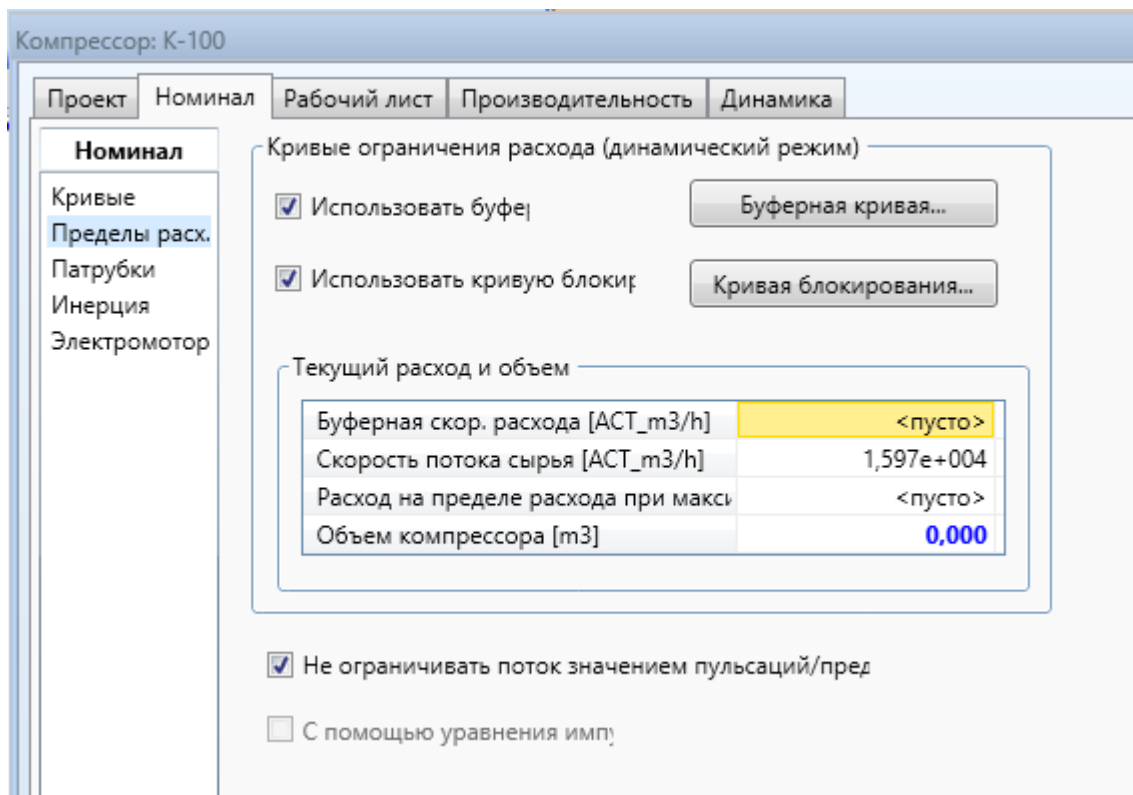


Рисунок 18 – Ограничение компрессора

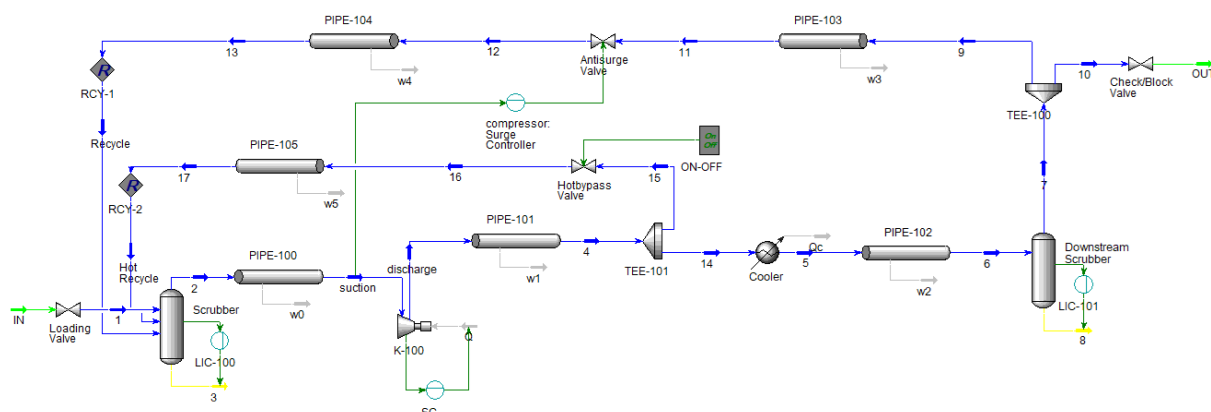
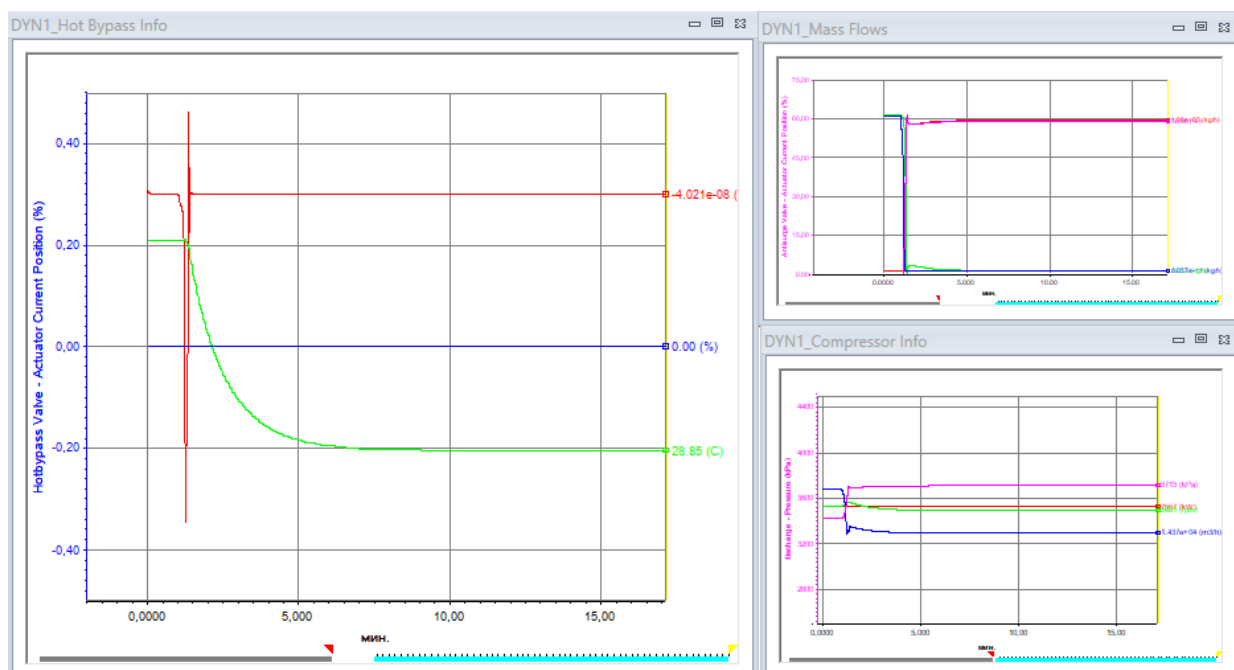
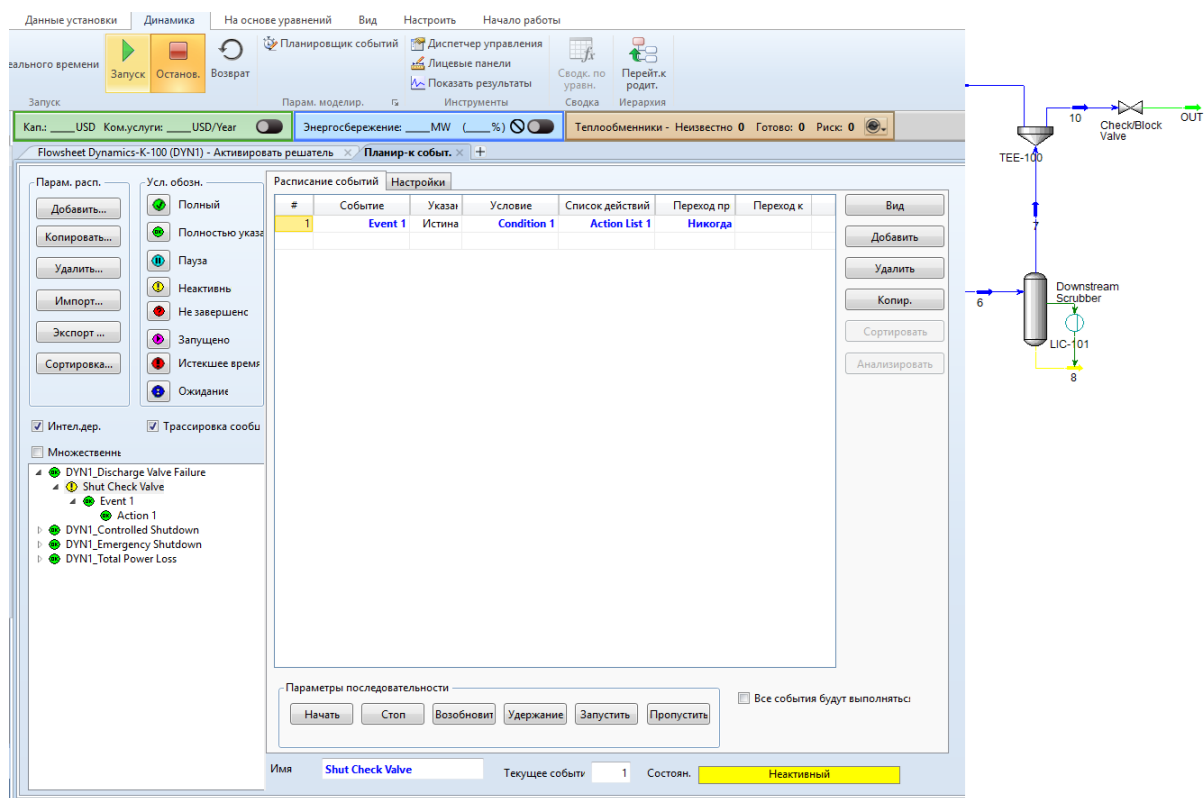


Рисунок 19 – Стандартная схема. Охлаждение на стороне нагнетания



Запуск динамической симуляции по выбранному сценарию. В зависимости от того, какой сценарий выбран, кривая напора на графике (Рисунок 22, Рисунок 23) изменятся сразу после начала моделирования, из точки, соответствующей наибольшему значению давления.

Фиксирование результатов

1. Детальная оценка кривой напора:

- контролировать положение рабочей точки относительно границ устойчивости,
- анализировать изменения формы кривой при:
изменении K_v клапана,
аварийных ситуациях.

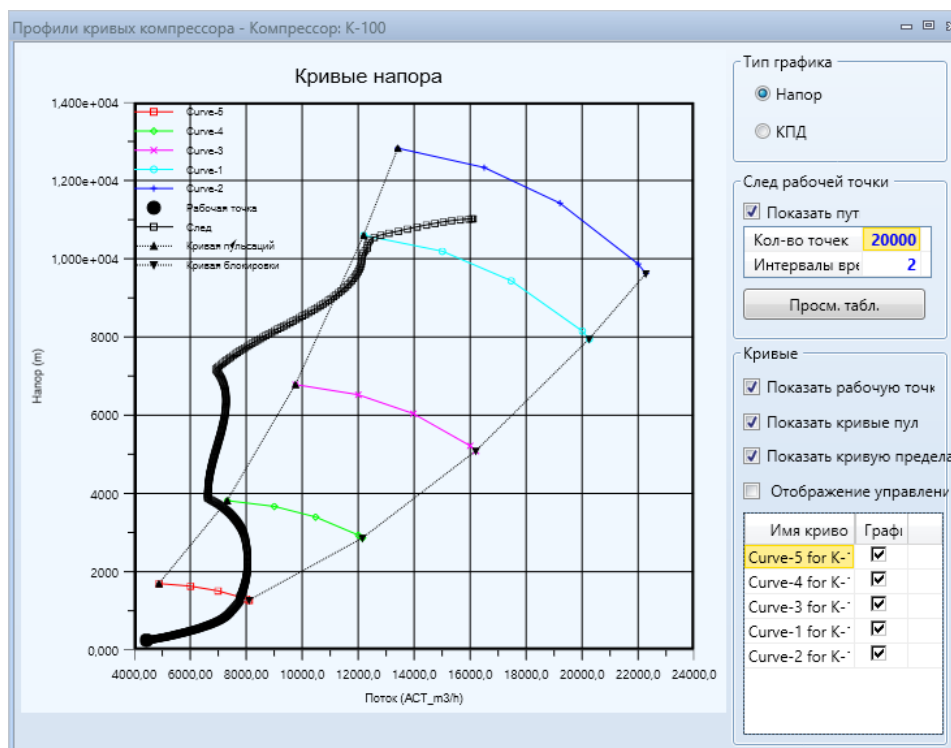


Рисунок 22 – Кривая напора при потере мощности до корректировки

2. Оценка работы системы:

- фиксировать моменты активации защитных механизмов,
- анализировать временные характеристики срабатывания, протоколы изменения параметров.

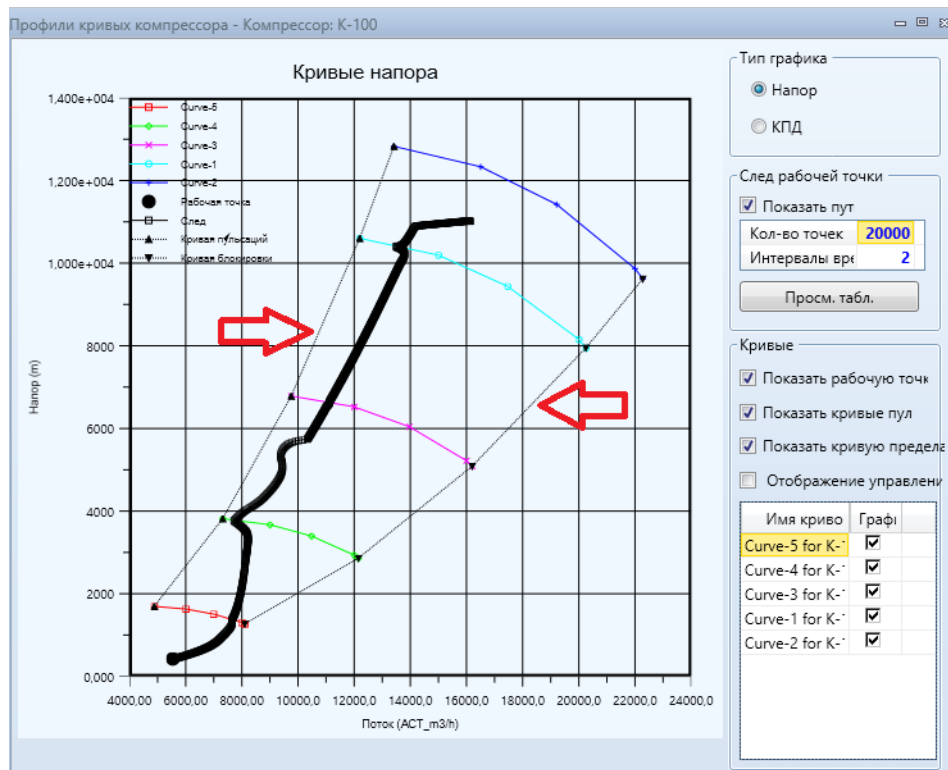


Рисунок 23 – Кривая напора при потере мощности после корректировки

Клапан: Hotbypass Valve

Проект Номинал Таблица Динамика

Динамика

Параметры

Труба

Задержка

Привод

Пределы расх.

Лин. диаграмма

Неисправность

Динамич. характеристики

Полная разн. давл. [kPa]	147,9	☐
Соотн. давл. и расх.		☒
Исполыз. Модиф. Давление- Эк		☐

Динамические параметры

Прох. отв. клап. [%]	100,00
Проводимость (Cv) [USGPM(60F, 1psi)]	478,2
Масс. расход [kg/h]	5,768e+004
Дельта Р трения [kPa]	147,9
Козф. затух. конст. равнов.	0,9500

☐ Пров. клап. (предот. обр. поток)

Удалить OK Игнорируе

Рисунок 24 – Изменение K_v клапана

Общее задание: скорректировать кривую напора предложенного компрессора при сценарии общей потери мощности путем изменения параметров оборудования выбранного шаблона или предложенной схемы, чтобы рабочая точка находилась в пределах безопасной зоны между кривыми помпажа и блокирования.

Состав входящего потока (мольн. доли): метан 0,9408; этан 0,0003; пропан 0,0002; азот 0,0393, CO₂ 0,0096, H₂O 0,0097

Температура на входе: 47,47 С.

Давление на входе: 1161 кПа.

Мольный расход: 3379 кмоль/ч.

Давление на выходе: 3000 кПа.

Таблица 6 – Характеристики компрессора

Объемный расход, м ³ /ч	Напор, м	КПД, %
Кривая 1. Скорость 7532,40 об/мин		
100,00	7610,84	2,00
2683,32	6866,01	75,41
2835,10	6822,25	75,89
3004,50	6623,01	75,97
3185,54	6542,19	75,82
3384,19	6379,76	76,15
3600,35	6137,38	76,12
3798,88	5937,08	75,27
3991,78	5614,34	73,84
4219,68	5328,67	72,12
4482,81	4833,86	68,38
4804,56	3987,61	60,94
6282,66	100,00	2,00
Кривая 2. Скорость 10043,20 об/мин		
100,00	13734,02	2,00
3803,85	12485,46	75,97
4037,40	12406,73	76,62
4300,31	12194,51	77,62
4510,60	11981,47	78,67
4779,27	11843,19	78,69
4966,29	11619,54	78,70
5287,70	11255,19	78,71
5591,60	10856,46	78,45
5895,74	10328,38	77,14
6077,11	9917,71	74,88
6258,48	9454,22	74,28
6334,71	9184,62	72,74
6510,44	8557,27	69,52
6639,52	7907,56	66,61

8190,73	100,00	2,00
Кривая 3. Скорость 12554,00 об/мин		
100,00	23748,58	2,00
5784,83	19558,36	78,01
6071,01	19347,42	78,83
6275,53	19166,95	78,89
6515,18	18913,35	79,48
6824,96	18592,68	79,79
7047,21	18271,05	80,10
7345,47	17834,39	79,86
7556,21	17438,47	79,81
7790,32	16967,89	79,38
8018,79	16370,96	78,28
8153,63	15860,01	77,57
8300,45	15187,56	75,96
8441,84	14252,79	71,91
8577,81	12891,92	67,25
9855,93	100,00	2,00
Кривая 4. Скорость 13181,70 об/мин		
100,00	26699,34	2,00
6470,68	21418,74	78,57
6581,70	21326,72	78,98
6762,85	21134,76	79,00
7049,25	20869,90	79,51
7306,51	20543,80	79,79
7587,15	20194,36	79,97
7850,40	19801,27	79,97
7985,02	19561,10	79,77
8277,75	18939,37	79,60
8482,84	18423,23	79,01
8741,00	17506,04	77,37
8929,38	16362,51	73,69
9101,60	14271,20	66,03
10268,64	100,00	2,00

Таблица 7 – Кривые ограничения расхода

Буферная кривая		Кривая блокирования	
Скорость, об/мин	Объемный расход, м³/ч	Скорость, об/мин	Объемный расход, м³/ч
7532,40	2683,32	7532,40	4804,56
10043,20	3803,85	10043,20	6639,52
12554,00	5784,83	12554,00	8577,81
13181,70	6470,68	13181,70	9101,60

Таблица 8 – Варианты заданий для самостоятельного выполнения лабораторной работы

Вариант	Конфигурация системы	Полученные характеристики
1	Охладитель на стороне нагнетания	1. График скорректированной кривой напора 2. Параметры настройки охладителя 3. Положение рабочей точки
2	Охладитель не на стороне нагнетания, скруббер	1. График скорректированной кривой напора 2. Параметры работы скруббера 3. Положение рабочей точки
3	Охладитель на стороне всасывания	1. График скорректированной кривой напора 2. Параметры всасывающего тракта 3. Положение рабочей точки
4	Собственное решение (пользовательский шаблон)	1. График скорректированной кривой напора 2. Описание предложенной схемы 3. Обоснование выбранных решений

Вопросы для самопроверки

1. Какой параметр является ключевым при анализе устойчивости работы компрессора?
2. Почему необходимо анализировать кривую напора при разных режимах работы?
3. Какие исходные данные необходимы для построения кривой помпажа компрессора?
4. Какие элементы системы участвуют в динамическом моделировании?
5. Какие готовые сценарии доступны для анализа в Aspen HYSYS?
6. Почему важно активировать характеристические кривые компрессора перед анализом?

Список источников

1. HYSYS Базис / Aspentech. – 2004. – 275 с.
2. HYSYS Модульные операции / Aspentech. – 2006. – 752 с.
3. HYSYS Dynamic Modeling / Aspentech. – 2005.

Хрёкин Антон Сергеевич

**Моделирование технологических процессов и
оборудования газопереработки в Aspen HYSYS:
современные методы и практики**

Учебно-методическое пособие

В авторской редакции

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

Зав. РИО

Н.Ф. Гусарова

Подписано к печати

Заказ №

Тираж

Отпечатано на ризографе

Редакционно-издательский отдел
Университета ИТМО
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49, литер А