

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижнекамский химико-технологический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»  
(НХТИ ФГБОУ ВО «КНИТУ»)



УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора по УР

Н.И. Никифорова

05 2022 г.

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

по дисциплине (модулю)

**Б1.В.04 «Моделирование и оптимизация химико-технологических процессов»**

(наименование дисциплины)

**18.04.01 «Химическая технология»**

(код и наименование направления подготовки)

Программа подготовки: Процессы и технологии глубокой переработки нефти

Магистр

квалификация

очно-заочная

форма обучения

Нижнекамск, 2022 г.

Составитель ФОС:

Старший преподаватель кафедры Нефтехимического синтеза

А.Д. Валиев

(должность)

(подпись)

(Ф.И.О)

ФОС рассмотрен и одобрен на заседании кафедры Нефтехимического синтеза,  
протокол от 06 апреля 2022 г. № 8

Зав. кафедрой

(подпись)

Р.З. Агзамов

(Ф.И.О)

Эксперт:

Руководитель программы магистратуры, разработчик учебного плана

Вдовина С.В., доцент кафедры Нефтехимического синтеза НХТИ ФГБОУ

ВО «КНИТУ»

Ф.И.О., должность, организация, подпись

*Перечень компетенций и индикаторов достижения компетенций с указанием этапов формирования в процессе освоения дисциплины*

Компетенции:

ПК-4 Способен строить и использовать математические модели для описания и прогнозирования различных явлений, осуществлять их качественный и количественный анализ, использовать пакеты прикладных программ при выполнении проектных работ

ПК-4.1 Знает методологию создания цифровых двойников технологических процессов с помощью математических моделей, комплексы программных продуктов, позволяющих создавать цифровые двойники на практике, методы анализа и оптимизации цифровых двойников

ПК-4.2 Умеет с помощью математических моделей создавать цифровые двойники реальных процессов для описания и прогнозирования различных явлений, производить их анализ и оптимизацию, используя пакеты прикладных программ

ПК-4.3 Владеет осмысленными навыками применения методов реализующих способность строить и использовать математические модели для описания и прогнозирования различных явлений, осуществлять их качественный и количественный анализ, использовать пакеты прикладных программ при выполнении проектных работ

Индикаторы достижения компетенции	Этапы формирования в процессе освоения дисциплины (указать все темы из РПД)				Наименование оценочного средства
	Лекции	Практические занятия, лабораторный практикум	Лабораторные занятия	Курсовой проект (работа)	
ПК-4.1	Тема I-II	-	Тема I-II	Тема I-II	Коллоквиум №1-2, лабораторная работа №1-5, зачет, экзамен
ПК-4.2	-	-	Тема I-II	Тема I-II	Коллоквиум №1-2, лабораторная работа №1-5, зачет, экзамен
ПК-4.3	-	-	Тема I-II	Тема I-II	Коллоквиум №1-2, лабораторная работа №1-5, зачет, экзамен

*Перечень оценочных средств по дисциплине (модулю)*

Оценочные средства	Кол-во	Min, баллов	Max, баллов
<b>3 семестр</b>			
Лабораторное занятие	3	18	30
Коллоквиум	2	18	30
Зачет		40	40
<b>Итого:</b>		60	100
<b>4 семестр</b>			
Лабораторная работа	2	36	60
Экзамен		24	40
<b>Итого:</b>		60	100

*Критерии оценки курсового проекта*

Оценочные средства	Кол-во	Min, баллов (базовый уровень)	Max, баллов (повышенный уровень)
Курсовой проект (работа)	1	60	100

### Шкала оценивания

Цифровое выражение	Выражение в баллах:	Словесное выражение	Критерии оценки индикаторов достижения при форме контроля: экзамен / зачет с оценкой
5	87 - 100	Отлично (зачтено)	Оценка «отлично» выставляется студенту, если теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов; исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно излагает материал; свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний; использует в ответе дополнительный материал все предусмотренные программой задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному; анализирует полученные результаты; проявляет самостоятельность при выполнении заданий
4	74 - 86	Хорошо (зачтено)	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если теоретическое содержание курса освоено полностью, необходимые практические компетенции в основном сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения достаточно высокое. Студент твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
3	60 - 73	Удовлетворительно (зачтено)	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, большинство предусмотренных программой заданий выполнено, но в них имеются ошибки, при ответе на поставленный вопрос студент допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, наблюдаются нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
2	Ниже 60	Неудовлетворительно (незачтено)	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если он не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы, необходимые практические компетенции не сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий не выполнено, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к минимальному

**Краткая характеристика оценочных средства**

<i>№ п/п</i>	<i>Наименование оценочного сред- ства</i>	<i>Краткая характеристика оценочного средства</i>	<i>Представление оценочного сред- ства в фонде</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
	Лабораторная ра- бота	Это вид учебной работы, целью которой является изучение (исследование, измерение) характеристик лабораторного объекта. Цель лабораторных занятий: освоение изучаемой учебной дисциплины; приобретение навыков практического применения знаний учебной дисциплины (дисциплин) с использованием технических средств и (или) оборудования	Темы лабораторных работ, контрольные вопросы по теме лабораторной работы, вопросы к коллоквиуму
	Практическое за- нятие	В ходе практических работ студенты овладевают умениями пользоваться работать с нормативными документами и инструктивными материалами, справочниками, составлять техническую документацию; выполнять чертежи, схемы, таблицы, решать разного рода задачи, делать вычисления, определять характеристики различных веществ, объектов, явлений. Цель практических занятий заключается в выработке у студентов навыков применения полученных знаний для решения практических задач в процессе совместной деятельности с преподавателями.	Темы практических занятий; контрольные вопросы и задания по теме практического занятия
	Коллоквиум	Средство контроля усвоения учебного материала темы, раздела или разделов дисциплины, организованное как учебное занятие в виде собеседования преподавателя с обучающимися.	Вопросы по темам/разделам дисциплины
	Проект	Конечный продукт, получаемый в результате планирования и выполнения комплекса учебных и исследовательских заданий. Позволяет оценить умения обучающихся самостоятельно конструировать свои знания в процессе решения практических задач и проблем, ориентироваться в информационном пространстве и уровень сформированности аналитических, исследовательских навыков, навыков практического и творческого мышления. Может выполняться в индивидуальном порядке или группой обучающихся.	Темы групповых и/или индивидуальных проектов

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижекамский химико-технологический институт (филиал) федерального  
государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования

«Казанский национальный исследовательский технологический университет»  
Направление подготовки: 18.04.01 Химическая технология  
Профиль подготовки: «Процессы и технологии глубокой переработки нефти»

3 семестр

**Перечень вопросов на зачет**  
по дисциплине Б1.В.04 «Моделирование и оптимизация химико-технологических процес-  
сов»

Модель и оригинал. Моделирование. Материальные и мысленные модели. Математические модели. Основные требования к процессу моделирования. Теория подобия. Виды подобий. Инварианты подобия. Критерии подобия. Теоремы подобия. Аналогия. Аналоговое моделирование. Математическое моделирование. Схема разработки нового химико-технологического процесса. Этапы математического моделирования. ХТП как система. Элементы ХТП. Неконтролируемые параметры. Основные физико-химические свойства технологических потоков. Подходы к описанию системы. Структурный подход. Эмпирический подход. Достоинства и недостатки подходов.

**Критерии оценки:**

Оценка «отлично» или 36-40 баллов – ответы на вопросы свидетельствуют об уверенных знаниях и умениях студента.

Оценка «хорошо» или 32-35 баллов – ответы на вопросы свидетельствуют о достаточных знаниях и умениях студента.

Оценка «удовлетворительно» или 25-31 баллов – ответы на вопросы свидетельствуют о недостаточных знаниях и ограниченном умении студента.

Оценка «неудовлетворительно» или 0-24 баллов – ответы на вопросы свидетельствуют о слабых знаниях и неумении студента.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижекамский химико-технологический институт (филиал) федерального  
государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»  
Технологический факультет

### **Содержание коллоквиумов**

по дисциплине Б1.В.04 «Моделирование и оптимизация химико-технологических процессов»

3 семестр

#### **Коллоквиум 1**

Модель и оригинал. Моделирование. Материальные и мысленные модели. Математические модели. Основные требования к процессу моделирования. Теория подобия. Виды подобий. Инварианты подобия. Критерии подобия. Теоремы подобия. Аналогия. Аналоговое моделирование. Математическое моделирование.

#### **Коллоквиум 2**

Схема разработки нового химико-технологического процесса. Этапы математического моделирования. ХТП как система. Элементы ХТП. Неконтролируемые параметры. Основные физико-химические свойства технологических потоков. Подходы к описанию системы. Структурный подход. Эмпирический подход. Достоинства и недостатки подходов.

#### **Критерии оценки:**

Максимально 15 (за 1 коллоквиум) - за полный, развернутый ответ на поставленные вопросы.

Минимально 9 баллов (за 1 коллоквиум) – за неполный ответ с допущением грубых ошибок при определении сущности раскрываемых понятий, теорий, явлений

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижекамский химико-технологический институт (филиал) федерального  
государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования

«Казанский национальный исследовательский технологический университет»

Направление подготовки: 18.04.01 Химическая технология

Профиль подготовки: «Процессы и технологии глубокой переработки нефти»

4 семестр

### **Перечень вопросов на экзамен**

по дисциплине Б1.В.04 «Моделирование и оптимизация химико-технологических процессов»

Модель и оригинал. Моделирование. Материальные и мысленные модели. Математические модели. Основные требования к процессу моделирования.

Теория подобия. Виды подобий. Инварианты подобия. Критерии подобия. Теоремы подобия. Аналогия. Аналоговое моделирование. Математическое моделирование.

Математическое моделирование. Схема разработки нового химико-технологического процесса. Этапы математического моделирования.

ХТП как система. Элементы ХТП. Неконтролируемые параметры. Основные физико-химические свойства технологических потоков. Подходы к описанию системы. Структурный подход. Эмпирический подход. Достоинства и недостатки подходов. Структура математического описания при структурном подходе. Иерархическая структура математической модели. Эмпирические модели.

Особенности моделей и задач математического моделирования. Точность моделей. Параметры моделей. Сложность моделей. Лимитирующие стадии. Стационарные и нестационарные процессы. Объекты с сосредоточенными и распределенными параметрами. Проектные и проверочные расчеты. Уравнения состояния. Моделирование химико-технологических процессов.

Программы моделирования химико-технологических процессов.

Регрессия. Виды регрессий. Линеаризация. Решение нелинейных уравнений.

Оптимизация в условиях риска и неопределенности

Оптимизация с учетом динамики системы

Оптимизация с целочисленными переменными

Оптимизация с учетом структуры ХТС

Некоторые частные задачи оптимизации ХТС

Оптимизация с учетом нескольких критериев

Особенности задач оптимизации ХТС

Характеристика переменных

Характеристика ограничений

Характеристика целевой функции

Основные подходы к решению задач оптимизации

Понятие о методах и алгоритмах решения

Аналитические методы оптимизации

Линейное программирование

Симплекс-метод

Динамическое программирование

Принцип максимума

Линейное программирование

Симплекс-метод

**Критерии оценки:**

Оценка «отлично» или 36-40 баллов – ответы на вопросы свидетельствуют об уверенных знаниях и умениях студента.

Оценка «хорошо» или 32-35 баллов – ответы на вопросы свидетельствуют о достаточных знаниях и умениях студента.

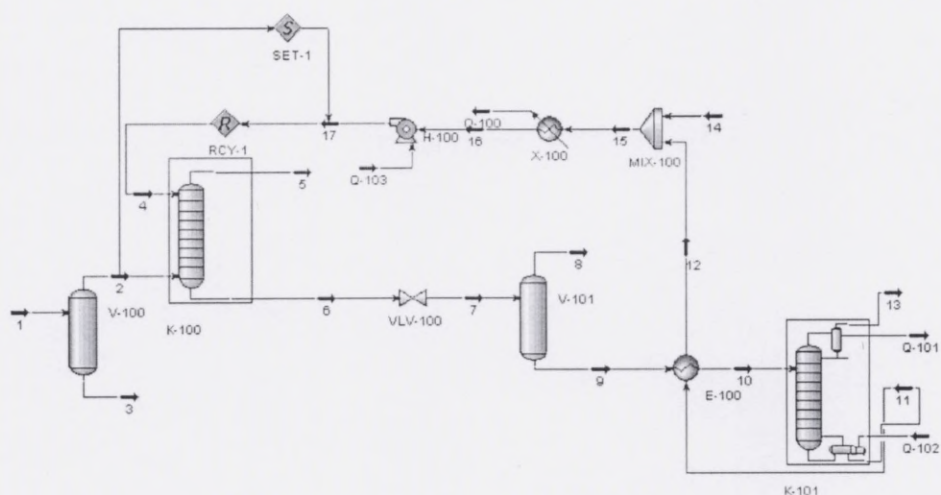
Оценка «удовлетворительно» или 25-31 баллов – ответы на вопросы свидетельствуют о недостаточных знаниях и ограниченном умении студента.

Оценка «неудовлетворительно» или 0-24 баллов – ответы на вопросы свидетельствуют о слабых знаниях и неумении студента.

**Содержание лабораторных работ**  
по дисциплине Б1.В.04 «Моделирование и оптимизация химико-технологических процес-  
сов»

1 семестр

Лабораторная работа №1 «Моделирование и оптимизация установки очистки кислых газов»



## Экспериментальные данные

Имя	1
Температура (C)	22.0000
Давление (кг/см <sup>2</sup> )	70.0000
Мольный расход (кмоль/час)	1245.0000
N <sub>2</sub> , мольные доли	0.0016
CO <sub>2</sub> , мольные доли	0.0413
H <sub>2</sub> S, мольные доли	0.0172
Метан, мольные доли	0.8692
Этан, мольные доли	0.0393
Пропан, мольные доли	0.0093
Изобутан, мольные доли	0.0026
Бутан, мольные доли	0.0029
Изопентан, мольные доли	0.0014
Пентан, мольные доли	0.0012
Гексан, мольные доли	0.0018
Гептан, мольные доли	0.0072
H <sub>2</sub> O, мольные доли	0.0050

Имя	4
Температура (C)	35.0000
Давление (кг/см <sup>2</sup> )	69.9500
Об. расход жидк. (м <sup>3</sup> /час)	43.0000
H <sub>2</sub> O, массовые доли	0.7200
DEA, массовые доли	0.2800

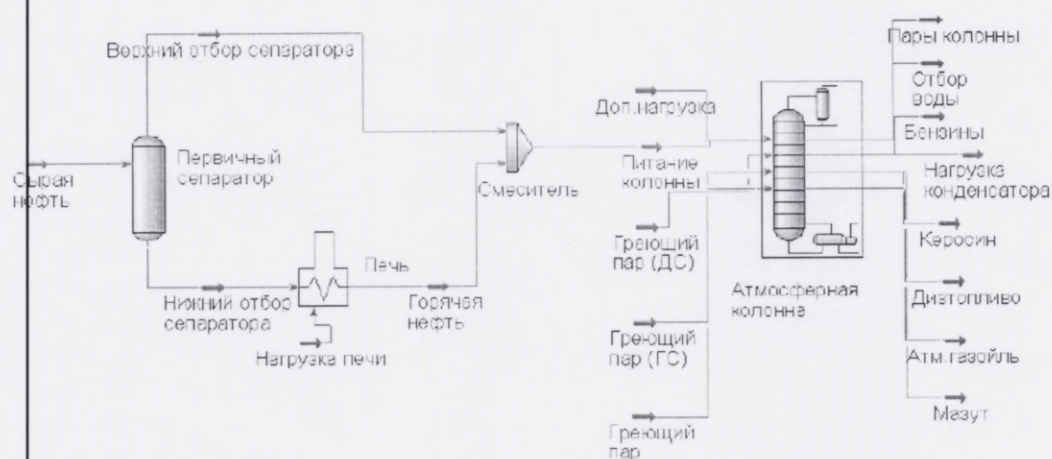
СЕПАРАТОР E-100		
Закладка, Страница	Поле	Значение
Данные, Соединения	Питание	1
	Пар	2
	Жидкость	3
Данные, Параметры	$\Delta P$	0 кг/см <sup>2</sup>

КОЛОННА K-100		
Страница	Поле	Значение
Соединение	Число тарелок	20
	Верхнее питание	4
	Нижнее питание	2
	Пар сверху	5
	Кубовая жидкость	6
Профиль давления	1 тарелка	69.95 кг/см <sup>2</sup>
	20 тарелка	70.00 кг/см <sup>2</sup>
Оценки температур	Температура 1 тарелки	38.0 C
	Температура 20 тарелки	70.0 C

КОЛОННА K-101		
Страница	Поле	Значение
Соединение	Число тарелок	18
	Питание/тарелка	10/4
	Тип конденсатора	Полный рефлюкс
	Пар сверху	13
	Кубовая жидкость	11
	Эн.поток конденсатора	Q-101
	Эн.поток ребойлера	Q-102
Профиль давления	В конденсаторе	1.95 кг/см <sup>2</sup>
	$\Delta P$ конденсатора	0.15 кг/см <sup>2</sup>
	В ребойлере	2.20 кг/см <sup>2</sup>

Лабораторная работа №2 «Моделирование и оптимизация установки атмосферной перегонки нефти»

Смоделировать установку атмосферной перегонки нефти



Экспериментальные данные

Свойства образца нефти	
Молекулярная масса	300.00
Плотность (в API)	48.75
Содержание компонентов в газовой фазе (в % об. жидк.)	
Изобутан	0.19
н-Бутан	0.11
Изопентан	0.37
н-Пентан	0.46

Разгонка образца нефти		
Доля отгона (в % об.)	Температура (°C)	Молек. масса
0.00	26.00	68.00
10.00	124.00	119.00
20.00	176.00	150.00
30.00	221.00	182.00
40.00	275.00	225.00
50.00	335.00	282.00
60.00	400.00	350.00
70.00	490.00	456.00
80.00	590.00	585.00
90.00	692.00	713.00
98.00	766.00	838.00

Плотность фракций разгонки	
Доля отгона (в % об.)	Плотность (в кг/м³)
13.00	725.00
33.00	758.00
57.00	796.00
74.00	832.00
91.00	897.00

Вязкость фракций		
Доля отгона (в % об.)	Вязкость (в сР) при 40°C	Вязкость (в сР) при 100°C
10.00	0.20	0.10
30.00	0.75	0.30
50.00	4.20	0.80
70.00	39.00	7.50
90.00	600.00	122.30

Лабораторная работа №3 «Моделирование и оптимизация установки вакуумной перегонки нефти»

Смоделировать установку вакуумной перегонки нефти

Экспериментальные данные

Свойства образца нефти	
Молекулярная масса	300.00
Плотность (в API)	48.75
Содержание компонентов в газовой фазе (в % об. жидк.)	
Изобутан	0.19
н-Бутан	0.11
Изопентан	0.37
н-Пентан	0.46

Разгонка образца нефти		
Доля отгона (в % об.)	Температура (°C)	Молек. масса
0.00	26.00	68.00
10.00	124.00	119.00
20.00	176.00	150.00
30.00	221.00	182.00
40.00	275.00	225.00
50.00	335.00	282.00
60.00	400.00	350.00
70.00	490.00	456.00
80.00	590.00	585.00
90.00	692.00	713.00
98.00	766.00	838.00

Плотность фракций разгонки	
Доля отгона (в % об.)	Плотность (в кг/м <sup>3</sup> )
13.00	725.00
33.00	758.00
57.00	796.00
74.00	832.00
91.00	897.00

Вязкость фракций		
Доля отгона (в % об.)	Вязкость (в сР) при 40°C	Вязкость (в сР) при 100°C
10.00	0.20	0.10
30.00	0.75	0.30
50.00	4.20	0.80
70.00	39.00	7.50
90.00	600.00	122.30

4 семестр

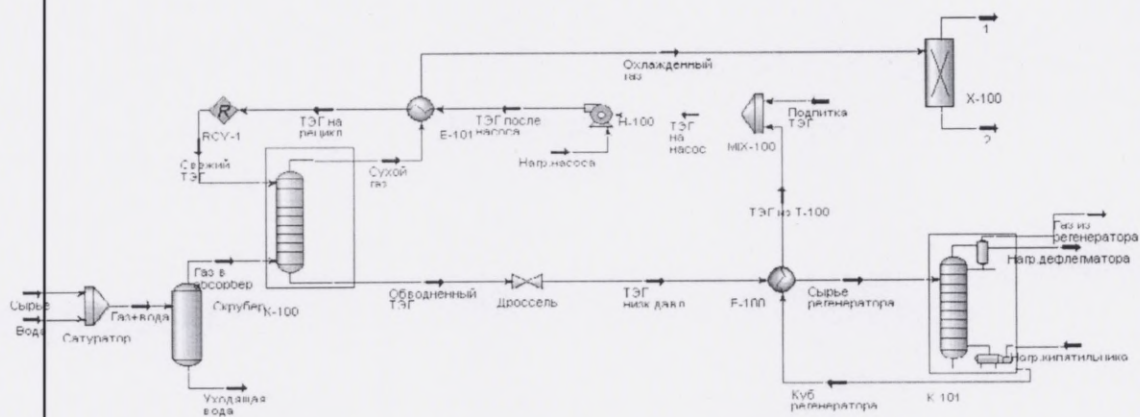
Лабораторная работа №4 «Моделирование и оптимизация установки изомеризации пентан-гексановой фракции»

На основании нижеприведенного алгоритма смоделировать установку изомеризации пентан-гексановой фракции:

1. Из литературных данных найти состав пентан-гексановой фракции, поступающей на секцию изомеризацию
2. Из литературных данных найти зависимости конверсии (селективности) процесса от температуры. На основании данных построить регрессионную модель, найти коэффициенты  $C_0$ ,  $C_1$  и  $C_2$ .
3. В программном комплексе HYSYS задать компоненты, выбрать термодинамический пакет Peng-Robinson, задать коэффициенты реакций
4. Провести моделирование установки

Лабораторная работа №5 «Моделирование и оптимизация осушки газов»

На основании экспериментальных данных провести моделирование установки осушки газа ТЭГ.



Имя	Сырье
Температура (С)	30.0
Давление (кг/см2)	63.0
Мольный расход (кмоль/час)	500.0
N2, мольные доли	0.0010
CO2, мольные доли	0.0284
H2S, мольные доли	0.0155
Метан, мольные доли	0.8989
Этан, мольные доли	0.0310
Пропан, мольные доли	0.0148
Изобутан, мольные доли	0.0059
Бутан, мольные доли	0.0030
Изопентан, мольные доли	0.0010
Пентан, мольные доли	0.0005

Имя	Вода
Температура (С)	30.0
Давление (кг/см2)	63.0
Мольный расход (кмоль/час)	0.5
H2O, массовые доли	1.0

СМЕСИТЕЛЬ - Сатуратор		
Закладка, Страница	Поле	Значение
Данные, Соединения	Вход	Сырье
	Выход	Вода Газ+H2O
Данные, Параметры	Давления потоков	Равно во всех потоках

КОЛОННА - К-100		
Закладка, Страница	Поле	Значение
Соединения	Число тарелок	14
	Питание (тарелка)	Свежий ТЭГ (1) Газ в абсорбер (14)
	Пар сверху	Сухой газ
	Кубовая жидкость	Обводненный ТЭГ
Давление	1 тарелка	63.00 кг/см2
	14 тарелка	63.00 кг/см2
Параметры, КПД	Тарелки 1,14	1.0
	Тарелки 1-13	0.5

РЕКТИФИКАЦИОННАЯ КОЛОННА - Регенератор		
Закладка, Страница	Поле	Значение
Соединения	Число тарелок	1
	Питание	Сырье конденсатора
	Тип конденсатора	Полная флегма
	Пар сверху	Газ из регенератора
	Кубовая жидкость	Куб регенератора
Давление	Конденсатор	1.03 кг/см2
Данные, Соединения	Δ Р конденсатора	0.02 кг/см2

Критерии оценки:

### 3 семестр

Максимально 10 баллов (за лабораторную работу №1) - за полный, развернутый ответ на поставленные вопросы.

Минимально 6баллов (за лабораторную работу №1) – за неполный ответ с допущением грубых ошибок при определении сущности раскрываемых понятий, теорий, явлений

### 4семестр

Максимально 30 баллов (за 1 лабораторную работу) - за полный, развернутый ответ на поставленные вопросы.

Минимально 18баллов (за 1 лабораторную работу) – за неполный ответ с допущением грубых ошибок при определении сущности раскрываемых понятий, теорий, явлений

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижекамский химико-технологический институт (филиал) федерального  
государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»  
Технологический факультет

**Содержание курсового проекта**  
по дисциплине Б1.В.04 «Моделирование и оптимизация химико-технологических процес-  
сов»

Перечень примерных тем для выполнения курсового проекта:

1. Моделирование установки изомеризация н-пентана в изопентан мощностью 10000 тонн в год
2. Моделирование установки АВТ мощностью 4000000 тонн в год
3. Моделирование установки разделения ШФЛУ мощностью 120000 тонн в год
4. Моделирование установки каталитического крекинга мощностью 250000 тонн в год
5. Моделирование установки каталитического риформинга мощностью 70000 тонн в год
6. Моделирование установки абсорбционной осушки природного газа мощностью 100000 тонн в год
7. Моделирование установки очистки природного газа от кислых примесей мощностью 75000 тонн в год
8. Моделирование установки разделения пирогаза мощностью 125000 тонн в год

**Требования к содержанию курсового проекта**

Введение

I. Теоретическая часть

II. Результаты моделирования

Вывод

Список использованной литературы

Объем отчета составляет 40-50 страниц машинописного текста формата А4.

**Защита курсовой работы**

На основании курсовой работы составляется устный доклад, раскрывающий основные цели и задачи, методику лабораторных исследований, результаты проведенной работы.

**Правила оформления курсовой работы**

Оформляется отчет по требованиям, предъявляемым к текстовым документам [ЕСКД ГОСТ 2.105 - 95]. Текстовые документы выполняют с применением ЭВМ (шрифт 14 размера, Times New Roman, межстрочный интервал - одинарный).

Оценочные средства	Кол-во	Min, баллов (базовый уровень)	Max, баллов (повышенный уровень)
Курсовой проект (работа)	1	60	100