



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИММиМ  
А.С. Савинов  
09.02.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

***АНАЛИЗ И СИНТЕЗ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ***

Направление подготовки (специальность)  
18.04.01 Химическая технология

Направленность (профиль/специализация) программы  
Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов

Уровень высшего образования - магистратура

Форма обучения  
очно-заочная

Институт/ факультет	Институт металлургии, машиностроения и материалообработки
Кафедра	Металлургии и химических технологий
Курс	1

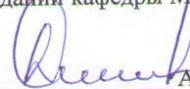
Магнитогорск  
2023 год

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО - магистратура по направлению подготовки 18.04.01 Химическая технология (приказ Минобрнауки России от 07.08.2020 г. № 910)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Metallургии и химических технологий

08.02.2023, протокол № 5

Зав. кафедрой



А.С. Харченко

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИММиМ

09.02.2023 г. протокол № 5

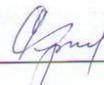
Председатель



А.С. Савинов

Рабочая программа составлена:

доцент кафедры МиХТ, канд. хим. наук



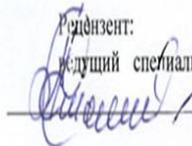
С.А. Крылова

Рецензент:

ведущий специалист НТЦ ГАДП ПАО «ММК»

, канд. техн. наук

Е.Н. Степанов



## Лист актуализации рабочей программы

---

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2024 - 2025 учебном году на заседании кафедры Металлургии и химических технологий

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ А.С. Харченко

---

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2025 - 2026 учебном году на заседании кафедры Металлургии и химических технологий

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ А.С. Харченко

---

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2026 - 2027 учебном году на заседании кафедры Металлургии и химических технологий

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ А.С. Харченко

### **1 Цели освоения дисциплины (модуля)**

приобретение студентами знаний относительно задач анализа и синтеза ХТС, освоение методов анализа и синтеза ХТС, использование их при анализе стадий химико-технологического процесса и создании оптимальных химико-технологических систем, формирование навыков практического использования полученных знаний для своей профессиональной деятельности,

### **2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы**

Дисциплина Анализ и синтез химико-технологических систем входит в часть учебного плана формируемую участниками образовательных отношений образовательной программы.

Для изучения дисциплины необходимы знания (умения, владения), сформированные в результате изучения дисциплин/ практик:

Оборудование и технология переработки твёрдого топлива

Массоперенос в системах с участием твёрдой фазы

Методология и методы научного исследования

Знания (умения, владения), полученные при изучении данной дисциплины будут необходимы для изучения дисциплин/практик:

Системы управления химико-технологическими процессами

Новые технологии в переработке топлива

Моделирование и оптимизация технологических процессов переработки твёрдого топлива

Производственная - научно-исследовательская работа

Получение синтетического жидкого топлива

### **3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) и планируемые результаты обучения**

В результате освоения дисциплины (модуля) «Анализ и синтез химико-технологических систем» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции
ПК-4	Способен выполнять производственные задачи по выпуску товарной продукции топливно-энергетического комплекса
ПК-4.1	Оценивает параметры и режимы технологических процессов, вносит предложения по их совершенствованию, анализирует результаты производственной деятельности в топливно-энергетическом комплексе

#### 4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единиц 108 акад. часов, в том числе:

- контактная работа – 12,7 акад. часов;
- аудиторная – 10 акад. часов;
- внеаудиторная – 2,7 акад. часов;
- самостоятельная работа – 86,6 акад. часов;
- в форме практической подготовки – 0 акад. час;
- подготовка к экзамену – 8,7 акад. час

Форма аттестации - экзамен

Раздел/ тема дисциплины	Курс	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)			Самостоятельная работа студента	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код компетенции
		Лек.	лаб. зан.	практ. зан.				
1. 1. Химико-технологическая система								
1.1 Химическое производство как ХТС. Показатели эффективности функционирования. Состав и структура ХТС.	1				1	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. - Подготовка к практическому занятию, собеседованию, выполнение домашнего задания	Собеседование Домашнее задание Экзамен	ПК-4.1
1.2 Примеры химических производств					10	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. - Подготовка к собеседованию	Собеседование Экзамен	ПК-4.1
1.3 Основные этапы разработки ХТС. Модели ХТС.				1	8	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. - Подготовка к практическому занятию, собеседованию, выполнение домашнего задания	Собеседование Домашнее задание Экзамен	ПК-4.1

1.4 Свойства ХТС как системы		0,5			10	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. - Подготовка к практическому занятию, собеседованию, выполнение домашнего задания	Собеседование Домашнее задание Экзамен	ПК-4.1
1.5 Состояние и расчет ХТС.		1		2	12	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. - Подготовка к практическому занятию, собеседованию, выполнение домашнего задания	Собеседование Домашнее задание Экзамен	ПК-4.1
Итого по разделу		2		3	41			
2. 2. Анализ ХТС.								
2.1 Задачи анализа. Эффективность использования материальных ресурсов		0,5			10	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. - Подготовка к практическому занятию, собеседованию, выполнение домашнего задания	Собеседование Домашнее задание Экзамен	ПК-4.1
2.2 Энергетическая и эксергетическая эффективность ХТС	1			1	10	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. - Подготовка к практическому занятию, собеседованию, выполнение домашнего задания	Собеседование Домашнее задание Экзамен	ПК-4.1
2.3 Эффективность организации процесса в ХТС.				0,5	10	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. - Подготовка к практическому занятию, собеседованию, выполнение домашнего задания	Собеседование Домашнее задание Экзамен	ПК-4.1
Итого по разделу		0,5		1,5	30			
3. Синтез ХТС.								

3.1 Задачи и методы синтеза ХТС.	1	1	0,5	6	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. - Подготовка к практическому занятию, собеседованию, выполнение домашнего задания	Собеседование Домашнее задание Экзамен	ПК-4.1
3.2 Технологические концепции создания ХТС.		0,5		5	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. - Подготовка к практическому занятию, собеседованию, выполнение домашнего задания	Собеседование Домашнее задание Экзамен	ПК-4.1
3.3 Совмещенные процессы. Перестраиваемые ХТС.			1	4,6	Самостоятельное изучение учебной и научной литературы. - Подготовка к практическому занятию, собеседованию, выполнение домашнего задания	Собеседование Домашнее задание Экзамен	ПК-4.1
Итого по разделу		1,5	1,5	15,6			
Итого за семестр		4	6	86,6		экзамен	
Итого по дисциплине		4	6	86,6		экзамен	

## **5 Образовательные технологии**

Проектирование обучения строится на основе следующих принципов:

- Обучение на основе интеграции с наукой и производством.
- Профессионально-творческая направленность обучения.
- Ориентированность обучения на личность.
- Ориентированность обучения на развитие опыта самообразовательной деятельности будущего специалиста.

Для достижения планируемых результатов обучения, в дисциплине «Анализ и синтез ХТС» используются образовательные технологии:

1. Традиционные образовательные технологии: информационная лекция, практическое занятие, семинар.

2. Технологии проблемного обучения: практическое занятие в форме семинара и домашнее задание, направленное на решение комплексной учебно-познавательной задачи, требующей от студента применения как научно-теоретических знаний, так и практических навыков.

3. Интерактивные технологии: семинар-дискуссия – коллективное обсуждение какого-либо спорного вопроса, проблемы, выявление мнений в группе. Изложение проблем и их совместное решение.

4. Информационно-коммуникационные образовательные технологии: лекция-визуализация. Практическое занятие в форме презентации – представление результатов с использованием специализированных программных сред.

## **6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Представлено в приложении 1.

## **7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации**

Представлены в приложении 2.

## **8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)**

### **а) Основная литература:**

1. Крылова С. А. Введение в анализ и синтез химико-технологических систем [Элек-тронный ресурс] : учебное пособие / С. А. Крылова ; МГТУ. - Магнитогорск : МГТУ, 2016. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - Режим доступа: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=25.pdf&show=dcatalogues/1/1131464/25.pdf&view=true> . - Макрообъект.

2. Основы проектирования процессов переработки природных энергоносителей: Учебное пособие / Кравцов А.В., Самборская М.А., Вольф А.В., - 2-е изд. - Томск:Изд-во Томского политех. университета, 2015. - 166 с. / Издательство « ИНФРА-М» Электронно-библиотечная система. <https://znanium.com/read?id=268307>

### **б) Дополнительная литература:**

1. Рябов, В. Д. Химия нефти и газа : учеб. пособие / В.Д. Рябов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : ИД «ФОРУМ» : ИНФРА-М, 2019. — 335 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-8199-0847-1. - Текст : электронный. - URL:

<https://znanium.com/read?id=327748> . – Режим доступа: по подписке.

2. Иртюго, Л. А. Кинетика гетерогенных процессов : учебное пособие / Л. А. Иртюго, А. А. Шубин. - Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2021. - 132 с. - ISBN 978-5-7638-4282-1. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1818744> – Режим доступа: по подписке.

3. Кафаров, В. В. Системный анализ процессов химической технологии : основы стратегии : монография / В. В. Кафаров, И. Н. Дорохов ; ответственный редактор Н. М. Жаворонков. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 499 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-06991-4. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/viewer/sistemnyy-analiz-processov-himicheskoy-tehnologii-osnovy-strategii-455509#page/1> .

4. Системный анализ процессов и аппаратов химической технологии : учеб. пособие / Э.Д. Иванчина, Е.С. Чернякова, Н.С. Белинская, Е.Н. Ивашкина ; Томский политехнический университет. - Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2017. - 115 с.- ISBN 978-5-4387-0787-5. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/read?id=344712> . – Режим доступа: по подписке.

5. Комиссаров, Ю. А. Химическая технология: многокомпонентная ректификация : учебное пособие для вузов / Ю. А. Комиссаров, К. Ш. Дам. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 255 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-05626-6. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/viewer/himicheskaya-tehnologiya-mnogokomponentnaya-rektifikaciya-454367#page/1> .

6. Перевалов, В. П. Тонкий органический синтез: проектирование и оборудование производств : учебное пособие для вузов / В. П. Перевалов, Г. И. Колдобский. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 312 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-11860-5. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/viewer/tonkiy-organicheskiy-sintez-proektirovanie-i-oborudovanie-proizvodstv-446284#page/1> .

7. Смирнов А. Н. Гетерогенные химические процессы [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. Н. Смирнов, С. А. Крылова, В. И. Сысоев ; МГТУ. - Магнитогорск : МГТУ, 2016. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - Режим доступа: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=67.pdf&show=dcatalogues/1/1130046/67.pdf&view=true> . - Макрообъект.

9. Смирнов А. Н. Химические реакторы. Гомогенный изотермический процесс [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. Н. Смирнов, С. А. Крылова, В. И. Сысоев ; МГТУ. - Магнитогорск : МГТУ, 2016. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - Режим доступа: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=70.pdf&show=dcatalogues/1/1130345/70.pdf&view=true> . - Макрообъект.

### **в) Методические указания:**

1. Смирнов А. Н. Химические процессы в реакторах [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. Н. Смирнов, С. А. Крылова, В. И. Сысоев ; МГТУ. - [2-е изд., подгот. по печ. изд. 2016 г.]. - Магнитогорск : МГТУ, 2017. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - Режим доступа: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=69.pdf&show=dcatalogues/1/1139091/69.pdf&view=true> . - Макрообъект.

2. Смирнов А. Н. Теоретические основы химико-технологических процессов [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. Н. Смирнов, С. А. Крылова, В. И.

Сысоев ; МГТУ. - Магнитогорск : МГТУ, 2018. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - Режим доступа:

<https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=3515.pdf&show=dcatalogues/1/1514321/3515.pdf&view=true> . - Макрообъект. - ISBN 978-5-9967-1095-9.

**г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

**Программное обеспечение**

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
MS Office 2007 Professional	№ 135 от 17.09.2007	бессрочно
7Zip	свободно	бессрочно
FAR Manager	свободно	бессрочно
Браузер Yandex	свободно	бессрочно
Linux Calculate	свободно	бессрочно

**Профессиональные базы данных и информационные справочные системы**

Название курса	Ссылка
Российская Государственная библиотека. Каталоги	<a href="https://www.rsl.ru/ru/4readers/catalogues">https://www.rsl.ru/ru/4readers/catalogues</a>
Международная база полнотекстовых журналов Springer Journals	<a href="http://link.springer.com/">http://link.springer.com/</a>
Электронные ресурсы библиотеки МГТУ им. Г.И. Носова	<a href="https://magtu.informsystema.ru/Marc.html?locale=ru">https://magtu.informsystema.ru/Marc.html?locale=ru</a>
Поисковая система Академия Google (Google Scholar)	URL: <a href="https://scholar.google.ru/">https://scholar.google.ru/</a>
Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного	URL: <a href="https://elibrary.ru/project_risc.asp">https://elibrary.ru/project_risc.asp</a>
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный институт промышленной	URL: <a href="http://www1.fips.ru/">http://www1.fips.ru/</a>

**9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа  
Мультимедийные средства хранения, передачи и представления информации.

Учебная аудитория для проведения практических занятий, занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации Доска, учебные столы, стулья

Учебные аудитории для самостоятельной работы обучающихся Персональные компьютеры с пакетом MS Office, выходом в Интернет и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета

Помещения для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования Стеллажи для хранения оборудования

Методическая литература для учебных занятий

Инструменты для ремонта и профилактического обслуживания учебного оборудования

**Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Примеры расчетных заданий:

1. Для реакции  $A = C + 2 D$  рассчитайте состав реакционной смеси, если начальное количество реагента А – 30 моль, а степень его превращения – 0,8.

2. Для реакции  $C_2H_4 + H_2O \Leftrightarrow C_2H_5OH$  определите возможность протекания в прямом направлении и константу равновесия при стандартных условиях и при температуре 700 К (воспользовавшись уравнением Темкина-Шварцмана).

3. При синтезе аммиака газ, выходящий из колонны, имеет состав (об.%):  $NH_3$  -17,0;  $N_2$  – 11,0;  $H_2$ – 72,0. Рассчитать соотношение  $N_2 : H_2$  в исходной смеси.

4. Некоторая химическая реакция протекающая без катализатора имеет энергию активации  $E_1 = 5 \cdot 10^4$  кДж/моль и константу скорости  $k_1$  при температуре 500 °С. В присутствии катализатора при этой же температуре энергия активации составила  $E_2 = 3,5 \cdot 10^4$  кДж/моль, а константа скорости  $k_2$ . Определите:

а) во сколько раз увеличится скорость каталитической реакции по сравнению с некаталитической при тех же условиях?

б) при какой температуре каталитическая реакция будет протекать с такой же скоростью, что и некаталитическая при 500 °С.

***Составление материального баланса***

Составить материальный баланс окисления аммиака (на 1т азотной кислоты). Степень окисления  $NH_3$  до  $NO$  - 0,97; до  $N_2$  - 0,03;  $NO$  до  $NO_2$  - 1,00. Степень абсорбции 0,92. Содержание аммиака в сухой аммиачно – воздушной смеси 7,13% (масс.). Воздух насыщен парами воды при 30°С. Относительная влажность 80%.

***Составление теплового баланса***

Составить тепловой баланс реактора для получения водорода каталитической конверсией метана. Состав исходной газовой смеси ( $m^3$ ):  $CH_4$  - 97,8;  $H_2O$  - 250,0. Потери теплоты составляют 4% от прихода. Температура смеси на входе в реактор - 380°С, на выходе 800°С.

*Внеаудиторная самостоятельная работа обучающихся осуществляется в виде изучения литературы по соответствующему разделу с проработкой материала; выполнения домашних заданий.*

Домашнее задание включает в себя:

- Подготовку и оформление материалов по анализу и синтезу различных систем химического производства (по заданию преподавателя или выбору студента, согласованного с преподавателем).

### ***Примеры индивидуальных домашних заданий (ИДЗ):***

***ИДЗ №1*** Провести анализ работы бензольного отделения в условиях АО «Уральская Сталь» с целью увеличения степени извлечения бензольных углеводородов из коксового газа, стабилизации работы и улучшения технико-экономических показателей ХТС производства сырого бензола.

***ИДЗ №2*** Провести анализ подсистемы термохимической очистки печного агрегата линии АНГЦ-3 ПАО «ММК» и сформулировать рекомендации по улучшению качества очистки и подготовки поверхности полосы.

***ИДЗ №3*** Провести анализ эффективности работы искрового спектрометра марки «SpectroMAXx-2», используемого в лаборатории аналитической химии ПАО «ММК» на участке ПМП и ЛПЦ-8. Сформулировать рекомендации по устранению недостатков в его работе и повышения точности результатов анализа.

### ***Методические указания к выполнению домашнего индивидуального задания***

Рекомендуемое название разделов в пояснительной записке

1. Содержание.
2. Задание.
3. Введение.
4. Синтез ХТС.
  - 4.1. Обоснование создания эффективной ХТС;
  - 4.2. Определение технологической топологии ХТС;
  - 4.3. Установление технологических и конструкционных параметров ХТС, технологических параметров режима и потоков;
  - 4.4. Изображение графических моделей ХТС (функциональной, структурной, операторной, технологической схемы с описанием).
5. Анализ ХТС.
  - 5.1. Представление изучаемого объекта в виде иерархической структуры ХТС;
  - 5.2. Построение математической модели ХТС; (при возможности или внести этот раздел после изучения других соответствующих дисциплин)
  - 5.3. Изучение свойств и эффективности функционирования ХТС
6. Заключение.
7. Список использованной литературы.

**Раздел «Задание».** В нем должен быть указан конкретный тип производственного процесса, для которого будет проводиться синтез и анализ ХТС. Здесь же приводится задача, которую следует решать для изучения свойств и эффективности функционирования ХТС.

**Во введении** (ориентировочно 1-3 стр.) в краткой и четкой форме должны быть сформулированы и обоснованы основные пути развития рассматриваемого производства, сформулирована цель работы, оценена актуальность выбранной темы и пути решения поставленной задачи.

**Раздел 4.** Синтез ХТС представляет одну из главных составных частей расчетно-пояснительной записки. Любой рассматриваемый химико-технологический процесс или химико-технологическое производство следует представлять как сложную ХТС, состоящую из большого числа аппаратов и связей между ними. Конечная цель синтеза (разработки) ХТС – создание высокоэффективного химического производства, т.е. производства, позволяющего получать продукцию не только в заданном объеме и требуемого качества, но и экономически целесообразным путем.

**Раздел 4.1.** Обоснование создания высокоэффективных ХТС. Проводится на основе литературных данных. В кратком обзоре литературы (ориентировочно 5-10 страниц) должен содержаться критический анализ данных о рассматриваемом производстве, имеющихся в учебниках, монографиях, периодической и патентной литературе. В обзоре должны быть обозначены наиболее прогрессивные технологические схемы и оборудование, предложена такая схема технологического процесса, которая позволит выпускать продукцию высокого качества с наименьшими затратами материальных и энергетических ресурсов и одновременно обеспечит требования, предъявляемые к защите окружающей среды. При этом в литературном обзоре должны быть названы пути создания эффективной технологической схемы (введение циклических потоков, схем замкнутого водооборота, замена оборудования более прогрессивным, введение изменений в технологический процесс и т.д.).

**Раздел 4.2.** Определение технологической топологии ХТС. Технологической топологией ХТС называют характер и порядок соединения отдельных аппаратов в технологической схеме. С учетом литературной проработки на отдельной странице студент должен выбрать аппараты схемы, определить характер связей между аппаратами, установить оптимальный порядок соединения отдельных элементов в технологическую схему.

**Раздел 4.3.** Установление технологических и конструктивных параметров ХТС, технологических параметров режима и потоков.

В этом разделе расчетно-пояснительной записки следует на отдельной странице (можно в виде таблицы) указать значения входных переменных, т.е. физические параметры входных потоков сырья (температуры, давления и др.), технологических параметров ХТС (степень превращения сырья, степень разделения химических компонентов, констант скоростей реакций, коэффициентов массо- и теплопередачи и т.п.), конструктивных параметров ХТС (геометрических характеристик аппаратного оформления – объема химического реактора, основного сечения аппарата, высоты слоя насадки и т.п.), параметров технологического режима в

аппаратах (элементах ХТС) – температуры, давления, активности применяемого катализатора, условий гидродинамики потоков компонентов; параметров технологических потоков (массовый расход, температура, давление, концентрация веществ в потоке и т.п.).

#### **Раздел 4.4. Изображение графических моделей ХТС.**

Качественные (обобщенные) модели существуют двух видов: операционно-описательные и иконографические.

Иконографические модели связаны с наглядным графическим изображением, чертежом. Это различные виды схем химико-технологического процесса, выполненных в виде чертежей: функциональная, структурная, операторная, технологическая.

Функциональная схема дает общее представление о процессе функционирования ХТС. По ней можно определить, какие операции совершаются в производстве и в какой последовательности. Сведений о типах отдельных элементов функциональная схема не дает.

Структурная схема дает изображение всех элементов ХТС в виде блоков и технологических связей между ними.

Операторная схема дает наглядное представление о физико-химической сущности технологических процессов системы.

Технологическая схема дает наиболее качественное представление о процессе. Каждый элемент процесса показан в виде условного общепринятого стандартного изображения. По схеме можно судить о типах и способах соединения элементов, о последовательности отдельных технологических процессов.

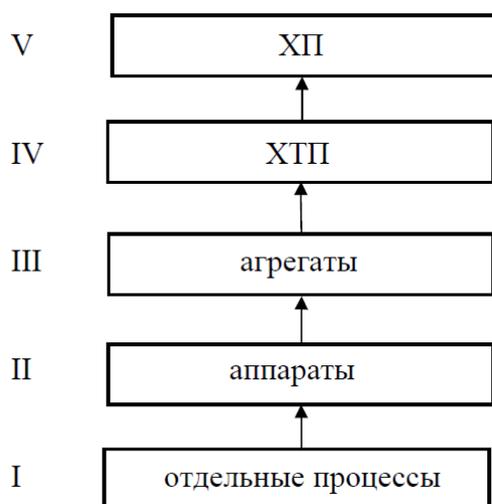
Все модели рассматриваемой ХТС представляются полно, каждая на отдельном листе. Вначале приводится химическая схема ХТС в стехиометрической форме, далее последовательно функциональная, структурная, операторная, технологическая.

Изображение технологической схемы сопровождается описанием технологического процесса.

Описание технологического процесса проводится с учётом последовательности основных технологических операций в соответствии с выбранной технологической схемой производства и её аппаратным оформлением. В описании указываются назначение отдельных стадий, физико-химическая сущность процессов, номера позиций с технологической схемы. Приводится краткое описание работы основного оборудования.

**Раздел 5. Анализ ХТС** – т.е. получение сведений о функционировании ХТС в зависимости от выбранной химической схемы, структуры технологических связей между элементами и подсистемами, а также от конструктивных и технологических параметров, исходя из заданных свойств и показателей функционирования, имеющих оптимальное значение.

**Раздел 5.1.** Иерархическая структура ХТС представляет собой возрастающую по масштабам последовательность:



Иерархическая структура ХТС показывает наличие отношений соподчиненности между уровнями (подсистемами) и существование взаимосвязи между подсистемами одного и того же уровня.

**Раздел 5.2.** Сущность математического моделирования, являющегося математическим методом химической кибернетики, заключается в том, что детальное изучение процесса производится на математической модели при помощи ЭВМ.

Математическое моделирование осуществляется в три взаимосвязанные стадии:

- 1) формализация изучаемого процесса - построение математической модели (составление математического описания);
- 2) программирование решения задачи (алгоритмизация), обеспечивающее нахождение численных значений определяемых параметров;
- 3) установление соответствия (адекватности) модели изучаемому процессу.

Математическое моделирование начинается с составления собственно математической модели. Эта модель, отражающая соответствующий физический или химический процесс, представляется в виде определенной математической записи, объединяет опытные факты и устанавливает взаимосвязь между параметрами исследуемого процесса; при этом используются теоретические методы и необходимые экспериментальные данные.

Конечной целью разработки математических моделей является прогноз результатов проведения процесса и выработка рекомендаций по возможным воздействиям на его ход.

При отсутствии достаточной информации об описываемом процессе, его изучение начинается с построения простейших моделей, но без нарушения основной качественной специфики исследуемого процесса.

При выполнении домашнего задания студентам предлагается установить основные закономерности протекания исследуемого процесса и составить математические уравнения используя литературные данные об описываемом процессе и опираясь на базовые законы химии – закон действия масс, принцип Ле-Шателье и др.

Математическая модель может быть двух уровней:

$$y_k = f(x_k, z_k, u_k)$$

- *описание элемента ХТС*

где  $X_k$  – параметр состояния потока на входе в  $k$ -тый аппарат (элемент);

$Z_k$  - конструкционный параметр элемента;

$U_k$  – управляющий параметр;

$Y_k$  – параметр потока на выходе из  $k$ -того аппарата.

- *описание технологических связей между аппаратами*

$$X_k = \alpha_{L-k} * y_L,$$

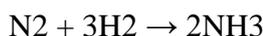
где  $\alpha_{L-k}$  - для потока, выходящего из  $L$ -го аппарата и входящего в  $k$ -тый аппарат;

$y_L$  - параметр состояния потока, выходящего из  $L$ -ого аппарата.

ПРИМЕР:

Создать математическую модель и выявить пути повышения эффективности процесса синтеза аммиака.

Химическая схема процесса



Скорость прямой реакции выражается уравнением

$$v = k[N_2] * [H_2]^3$$

Принимая, что  $[N] = \text{const}$ , можно записать:

$$y = k_1 * x_1^3$$

где  $y$  - скорость прямой реакции

$k_1$  - коэффициент пропорциональности

$x_1$  - концентрация водорода [Н].

Принимая, что температурный коэффициент скорости данной химической реакции равен 2.7, можно записать, что

$$y = k_1 \cdot x_1^3 \cdot 2,7^{\frac{x_2}{10}}$$

где  $x_2$  – изменение температуры химической реакции  $\Delta T$ .

Поскольку процесс синтеза происходит в газовой фазе, можно количественно оценить влияние давления в системе на скорость химического процесса. Так, при увеличении давления в системе, эквивалентного уменьшению объема системы в 2 раза (при этом во столько же раз происходит повышение концентраций реагирующих веществ), скорость прямой реакции возрастает в 16 раз. Таким образом правомерно записать

$$y = k_1 \cdot x_1^3 \cdot 2,7^{\frac{x_2}{10}} \cdot 4^{x_3}$$

где  $x_3$  – изменение давления, соответствующее уменьшению объема системы в 2 раза.

Анализируя полученную математическую зависимость можно сделать вывод о характере влияния основных технологических параметров (концентрации исходных реагентов, температуры и давления) на скорость прямой химической реакции.

### **Раздел 5.3.** Изучение свойств и эффективности функционирования ХТС.

Производится путем выполнения технологических расчетов для ХТС, которые (по заданию) могут включать:

- определение теоретических расходных коэффициентов рассматриваемого производства;
- определение фактических расходных коэффициентов рассматриваемого производства;
- определение технического состава продукта;
- составление материального баланса отдельного узла, химического реактора или процесса;
- составление теплового баланса отдельного узла, химического реактора или процесса.

Расчет теоретических расходных коэффициентов производится в соответствии со стехиометрическими уравнениями химической реакции, протекающей в рассматриваемой ХТС.

Расчет фактических расходных коэффициентов производится с учетом возможного меняющегося технического состава продуктов при их хранении и транспортировке, а также с учетом потерь сырья и возвратных (или безвозвратных отходов).

Материальный баланс рассматриваемой ХТС или её подсистемы строится на основе закона сохранения массы с учетом стехиометрических балансовых соотношений и может быть представлен таблицей, диаграммой и т.д. Тепловой баланс рассматриваемой ХТС или её подсистемы строится на основе закона сохранения энергии с учетом термодинамических, термодинамических балансовых соотношений.

Кроме расчетных характеристик для оценки эффективности функционирования ХТС можно использовать экологические рекомендации, которые носили бы описательный характер или конкретную информацию по охране окружающей среды.

В этом разделе курсовой работы могут приводиться схемы обезвреживания, химизмы процессов, протекающих с целью обезвреживания отходящих газов или стоков, особенности аппаратного оформления этих процессов, характеристика применяемых для обезвреживания веществ, материалов и др.

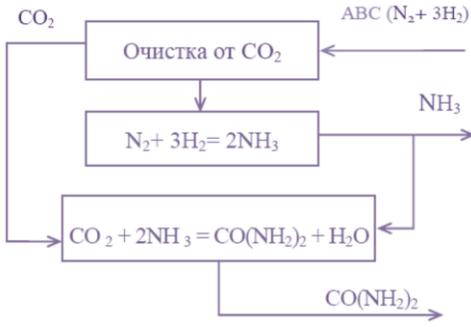
**Раздел «Заключение»** (ориентировочный объем 1 страница). Формулируются краткие выводы, вытекающие из выполненной работы. В них характеризуются техническое решение выбранной технологической схемы, дается оценка рекомендуемого процесса, его технико-экономической эффективности, решения вопросов охраны окружающей среды.

### Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

#### а) Планируемые результаты обучения и оценочные средства для проведения промежуточной аттестации:

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
<b>ПК-4: Способен выполнять производственные задачи по выпуску товарной продукции топливно-энергетического комплекса</b>		
ПК-4.1	Оценивает параметры и режимы технологических процессов, вносит предложения по их совершенствованию, анализирует результаты производственной деятельности в топливно-энергетическом комплексе	<ul style="list-style-type: none"> <li>– На примере ХТС производства аммиака               <ul style="list-style-type: none"> <li>А) Провести логическое расчленение ХТС, определить критерии эффективности выделенных элементов ХТС</li> <li>Б) Провести анализ условий функционирования выделенных элементов ХТС, их взаимосвязи и влияния на выбранные критерии эффективности.</li> <li>В) Рассмотреть несколько вариантов функционирования, указать их достоинства и недостатки.</li> </ul> </li> <li>– Объяснить, в чем заключается улучшение организации ХТС производства <math>HNO_3</math> по рис.а и б?</li> </ul>

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
		<div style="text-align: center;"> </div> <p>– воздушный фильтр: 2 - компрессор; 3 - смеситель; 4 - испаритель; 5 - теплообменник; 6 - реактор; 7- котел-утилизатор; 8 - холодильник; 9 - окислитель; 10 - холодильник конденсатор;</p> <p>– 11 - абсорбционная колонна</p> <p>– Составьте химическую модель, функциональную схему процесса получения водорода конверсией метана. Выделите подсистему (на выбор), определите критерии ее эффективности.</p> <p>– Производство аммиака из природного газа можно представить химической схемой:</p> $CH_4 + 2H_2O = CO_2 + 4H_2$ $3H_2 + N_2 = 2NH_3$ <p>или суммарным уравнением <math>3CH_4 + 6H_2O + 4N_2 = 3CO_2 + 8NH_3</math>.</p> <p>Теоретически на производство 1т <math>NH_3</math> необходимо затратить 494 м<sup>3</sup> природного</p>

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
		<p>газа (метана). Реальный расходный коэффициент составляет более <math>1000 \text{ м}^3/1\text{т } \text{NH}_3</math>. Назовите возможные причины дополнительного расхода природного газа.</p> <p>– При получении аммиака из азото-водородной смеси (ABC), очистка ABC от остатков CO осуществляется в реакторе метанирования по реакции <math>\text{CO} + \text{H}_2 = \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}</math>. Какие последствия могут возникнуть в подсистеме синтеза аммиака при уменьшении степени гидрирования CO?</p> <p>– Какое комбинированное производство может соответствовать представленной схеме? Опишите его.</p>  <p>– Энтальпия реакции нейтрализации аммиака 52,5%-ной азотной кислотой <math>\Delta H =</math></p>

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
		<p>–106,09 кДж/моль. Определите, сколько воды может испариться за счет теплоты реакции нейтрализации 212,5кг аммиака. Энтальпия парообразования воды <math>\Delta H = -2684</math> кДж/кг.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– С хлорного электролизера диафрагменного типа нагрузкой 40 кА за сутки получен щелок объемом <math>10,6 \text{ м}^3</math>, содержащий <math>130 \text{ кг/м}^3</math> едкого натра. Определите выход щелочи по току.</li> <li>– В схеме реактора с выносным теплообменником имеется обратная связь по теплу между входящим и выходящим потоками с температурами <math>T_{\text{вх}}</math> и <math>T_{\text{вых}}</math> соответственно. К каким последствиям может привести кратковременное повышение (понижение) температуры на выходе из реактора <math>T_{\text{к}}</math>? Как это будет связано с чувствительностью системы?</li> </ul> <div data-bbox="1014 922 1579 1265" data-label="Diagram"> </div> <p>1. Определите последовательность этапов исследования и анализа химико-технологических систем (ХТС):</p>

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
		<p>а. выделение связей между элементами, ответственных за проявление интересующих свойств ХТС;</p> <p>б. исследование ХТС – решение математического описания ХТС и расчет показателей функционирования ХТС, определение свойств, изучение эволюции ХТС для улучшения ее показателей и свойств;</p> <p>с. выделение элементов, определяющих интересующие или необходимые свойства ХТС;</p> <p>д. установление зависимости параметров выходных потоков от параметров входных потоков для каждого элемента, т.е. создание математической модели ХТС.</p> <p>А) d a б с  Б) б с d a  С) с d a b  Д) с a d b</p> <p>2. Для чего используют математические модели ХТС</p> <p>А) для наглядного отражения основных связей ХТП и их взаимосвязи</p> <p>Б) для решения на компьютерах и расчетов материально-тепловых балансов, последующего вычисления необходимых показателей функционирования ХТС</p> <p>С) для снижения энергоемкости продукции</p> <p>Д) для украшения научных отчетов</p> <p>3. К методам решения задач синтеза ХТС <b>не</b> относится</p>

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
		<p>А) декомпозиционный</p> <p>Б) интегральный</p> <p>В) эвристический</p> <p>Г) термодинамический</p> <p>4 Для <i>нестационарного</i> процесса справедливо</p> <p>А) <math>dq/dt \neq 0</math> и <math>dN/dt \neq 0</math></p> <p>Б) <math>dq/dt \neq 0</math> и <math>dN/dt = 0</math></p> <p>В) <math>dq/dt = 0</math> и <math>dN/dt \neq 0</math></p> <p>Г) <math>dq/dt = 0</math> и <math>dN/dt = 0</math></p>

## **б) Порядок проведения промежуточной аттестации, показатели и критерии оценивания:**

Промежуточная аттестация по дисциплине «Анализ и синтез химико-технологических систем» включает теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень усвоения обучающимися знаний, и практические задания, выявляющие степень сформированности умений и владений, проводится в форме экзамена.

Экзамен по данной дисциплине проводится в устной форме по экзаменационным билетам, каждый из которых включает 2 теоретических вопроса и одно практическое задание.

### **Показатели и критерии оценивания экзамена:**

– на оценку **«отлично»** (5 баллов) – обучающийся демонстрирует высокий уровень сформированности компетенций, высокий уровень знаний не только на уровне воспроизведения и объяснения информации, но и интеллектуальные навыки решения проблем и задач:

- дается комплексная оценка предложенной ситуации;
- демонстрируются глубокие знания теоретического материала и умение их применять;
- последовательное, правильное выполнение всех практических заданий;
- умение обоснованно излагать свои мысли, делать необходимые выводы.

– на оценку **«хорошо»** (4 балла) – обучающийся демонстрирует средний уровень сформированности компетенций:

- дается комплексная оценка предложенной ситуации;
- демонстрируются достаточные знания теоретического материала и умение их применять; но допускаются незначительные ошибки, неточности
- выполнение всех практических заданий; возможны единичные ошибки, исправляемые самим студентом после замечания преподавателя;
- затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.

– на оценку **«удовлетворительно»** (3 балла) – обучающийся демонстрирует пороговый уровень сформированности компетенций:

- затруднения с комплексной оценкой предложенной ситуации;
- неполное теоретическое обоснование, требующее наводящих вопросов преподавателя;
- выполнение заданий при подсказке преподавателя;
- затруднения в формулировке выводов.

– на оценку **«неудовлетворительно»** (2 балла) – обучающийся демонстрирует знания не более 20% теоретического материала, допускает существенные ошибки, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.

– на оценку **«неудовлетворительно»** (1 балл) – обучающийся не может показать знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.