

Дисциплина «**Химическая технология**» относится к базовой части блока химических дисциплин, является обязательным курсом. Курс химической технологии в университетском образовании является важной дисциплиной, завершающей базовую подготовку студентов по химическим наукам и раскрывающей значение химической науки и технологии в развитии производительных сил общества и решении экологических проблем. Цель курса сформировать и развивать у студентов основы технологического и экологического мышления. В соответствии с требованиями базового высшего образования выпускник химического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова должен иметь общие представления о многообразии и структуре химических производств, обладать знанием типовых химико-технологических процессов и лежащих в их основе физико-химических закономерностей, иметь представление об инженерном оформлении химико-технологических процессов и основных типах используемых в технологии конструкционных и функциональных материалах, обладать навыками оценки технологических решений по критериям эффективности использования сырья и энергоресурсов, экологической безопасности и экономической целесообразности.

Дисциплина «Химическая технология» завершает базовую подготовку студентов по химическим дисциплинам в университетском образовании.

**Целями** курса химическая технология являются:

1. формирование технологического мышления выпускников университета, раскрыть взаимосвязи между развитием химической науки и химической технологии;
2. подготовить выпускников университетов к активной творческой работе по созданию перспективных процессов, материалов и технологических схем.
3. научить студентов активно использовать накопленные знания, которые они приобрели при изучении предшествующих курсов, включая многие разделы математики, физики, химической термодинамики, химической кинетики и катализа, химии неорганических и органических соединений, для создания перспективных технологических процессов.

**Задачи курса химической технологии.**

Задачами курса химической технологии являются:

1. раскрыть взаимосвязи между развитием химической науки и химической технологии;
2. подготовить студентов к решению типовых химико-технологических задач;
3. ознакомить студентов с наиболее эффективными схемными решениями химико-технологических процессов в структуре современного промышленного предприятия, выработать способности к критическому анализу действующих производств, сравнению их с альтернативными решениями;
4. ознакомить студентов с реальными химическими производствами с учетом сырьевых и энергетических затрат, организацией контроля и управления производством (на производственной практике);
5. освоить вопросы экономики современного химического производства;

В результате освоения дисциплины студент **должен знать**

1. Общие вопросы химической технологии. Роль и масштабы использования химических процессов в различных сферах материального производства. Сырьевую и энергетическую базу химических производств. Тенденции развития техносферы и возрастающее значение проблем ресурсо- и энергосбережения, обеспечения безопасности химических производств, защиты окружающей среды
2. Основные этапы создания химико-технологических систем (ХТС). Принципы и общую стратегию системного подхода. Роль математического моделирования в решении задач проектирования и эксплуатации ХТС.
3. Фундаментальные критерии эффективности использования сырья и энергоресурсов в ХТС. Интегральные уравнения баланса материальных потоков в технологических системах. Интегральные уравнения баланса потоков энергии. Сопоставление масштабов изменения различных форм энергии в типовых процессах. Основные направления повышения эффективности использования сырьевых и энергетических ресурсов. Комплексное использование сырья. Энерготехнологические схемы и их сущность.

4. Современную систематику материалов по составу, свойствам и функциональному назначению. Материалы как важная категория продуктов химической технологии. Воспроизводимость свойств материалов как ключевая проблема материаловедения. Функциональные материалы в химической технологии: катализаторы, адсорбенты, электроды, мембраны, сенсоры и др.

5. Экономические показатели эффективности химических производств. Техно-экономические особенности химической промышленности. Оценку эффективности инвестиционных проектов.

6. Типовые решения химико-технологических задач в обстановке крупного промышленного предприятия. Структуру и технологические схемы основных химических производств: технология связывания азота, переработка фосфорсодержащего сырья, получение серной и азотной кислот, переработка нефти, производство полиэтилена и органических волокон, производство композиционных материалов, производство материалов на основе углерода, производство железа и алюминия, электрохимические производства.

В результате изучения дисциплины химическая технология обучающийся **должен уметь**:

1. Оценить весь промышленный объект как большую химико-технологическую систему и грамотно описать ее иерархическую структуру
2. Читать технологические схемы реальных химических процессов
3. Составить материальный и энергетический баланс отдельного производства или предприятия.

**Владеть** методами оценки опасности химического производства.

**Приобрести опыт деятельности** по реализации результатов научно-исследовательской работы до стадии внедрения, уделяя особое внимание системному анализу альтернативных технологических решений.

### Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 216 часов, из них 144 ч. – курс «Химическая технология» (60 ч. лекций и 84 ч. самостоятельной работы), 72 ч. – практикум (60 ч. аудиторные занятия и 12 ч. самостоятельной работы).

Вид работы	Семестр	Всего
	10	
<b>Общая трудоёмкость, акад. часов</b>	<b>216</b>	<b>216</b>
<b>Аудиторная работа:</b>	<b>120</b>	<b>120</b>
Лекции, акад. часов	60	60
Семинары, акад. часов	-	-
Лабораторные работы, акад. часов	60	60
<b>Самостоятельная работа, акад. часов</b>	<b>96</b>	<b>96</b>
<b>Вид итогового контроля (зачёт, зачёт с оценкой, экзамен)</b>	Зачет, экзамен	

### Содержание лекций

№ раздела	Наименование раздела	Содержание раздела
1	Общие вопросы химической технологии	Роль и масштабы использования химических процессов в различных сферах материального производства. Сырьевая и энергетическая база химических производств. Тенденции развития техносферы и возрастающее значение проблем ресурсо- и энергосбережения,

		<p>обеспечения безопасности химических производств, защиты окружающей среды.</p> <p>Химическое производство как сложная система. Основные этапы создания химико-технологических систем (ХТС). Структурная иерархия технологических систем: молекулярные процессы – макрокинетика – аппараты – производства – глобальные проблемы развития техносферы. Роль математического моделирования в решении задач проектирования и эксплуатации ХТС.</p> <p>Фундаментальные критерии эффективности использования сырья и энергоресурсов в ХТП. Интегральные уравнения баланса материальных потоков в технологических системах. Показатели расхода различных видов сырья; относительный выход продукта. Интегральные уравнения баланса потоков энергии. Сопоставление масштабов изменения различных форм энергии в типовых процессах. Коэффициенты преобразования энергии. Термодинамическая неравноценность различных форм энергии; термодинамическая шкала качества тепловой энергии. Интегральное уравнение баланса энтропии; рост энтропии в технологическом процессе. Эксергия как мера потенциальной работоспособности системы. Уравнение баланса эксергии; связь между потерями эксергии и производством энтропии. Коэффициенты преобразования эксергии. Основные источники производства энтропии в технологических процессах; общее выражение скорости производства энтропии через потоки субстанций и их движущие силы. Основные направления повышения эффективности использования сырьевых и энергетических ресурсов. Комплексное использование сырья. Энерготехнологические схемы и их сущность.</p> <p>Химическая технология и материаловедение. Современная систематика материалов по составу, свойствам и функциональному назначению. Материалы как важная категория продуктов химической технологии. Воспроизводимость свойств материалов как ключевая проблема материаловедения. Функциональные материалы в химической технологии: катализаторы, адсорбенты, электроды, мембраны, сенсоры и др. Параметры ныне применяемых функциональных материалов и прогнозируемые характеристики. Ресурс функциональных материалов – один из важнейших критериев их использования в технологии. Конструкционные материалы как фактор, лимитирующий применение экстремальных физических воздействий в технологии. Химическое сопротивление металлических и неметаллических материалов. Методы защиты металлов и сплавов от коррозии. Основные виды неметаллических конструкционных материалов. Роль новых материалов при разработке эффективных технологических схем и интенсификации технологических процессов.</p> <p>Экономические показатели эффективности химических производств. Технико-экономические особенности химической промышленности. Основные производственные фонды, оборотные средства и трудовые ресурсы производств. Критерии эффективности их использования. Структура затрат на производство и реализацию продукции. Себестоимость продукции, прибыль и ценообразование в химической промышленности. Оценка эффективности инвестиционных проектов</p>
2	Теоретические основы химической техно-	Макроскопическая теория физико-химических явлений – теоретическая база химической технологии. Основные макроскопические переменные параметры, характеризующие перенос и превращение ве-

<p>логии</p>	<p>щества, импульса и энергии в распределенных неравновесных системах. Обобщенная форма дифференциальных уравнений баланса, связывающих функции плотности, потока и источника субстанции. Конвективный и кондуктивный перенос субстанции. Классические законы пропорциональности кондуктивных потоков химического компонента, импульса и теплоты градиентам концентрации, скорости и температуры. Характеристика коэффициентов переноса в различных средах. Конкретные частные формы дифференциальных уравнений баланса вещества, импульса и энергии.</p> <p>Элементы механики газов и жидкостей. Представление о множестве экспериментально наблюдаемых режимов обтекания сплошной средой тела правильной формы в зависимости от интервала изменения критерия гидродинамического подобия Рейнольдса. Режимы течения сплошной среды в каналах и при фильтрации через плотные слои гранулированных материалов. Расчет профиля скорости и перепада давления в прямолинейном канале (щелевом или цилиндрическом). Течения, обусловленные градиентами плотности и поверхностного натяжения.</p> <p>Механизмы переноса импульса в потоке. Число Рейнольдса, как мера сравнения двух основных механизмов переноса импульса. Неравноценность масштабов движения по разным направлениям, гидродинамический пограничный слой. Уравнения Прандтля. Толщина гидродинамического пограничного слоя. Значение экспериментальных и теоретических методов механики сплошных сред для химической технологии.</p> <p>Краткие сведения о насосах, компрессорных машинах и турбинах. Методы смешения фаз и разделения гетерогенных систем. Тепловые процессы в химической технологии. Способы распространения теплоты: теплопроводность, конвекция, тепловое излучение, и соответствующие уравнения теплопереноса. Технологические способы нагревания и охлаждения. Теплообменные аппараты. Математическое моделирование процессов теплообмена. Коэффициенты теплопереноса; полуэмпирические критериальные соотношения. Представление о сложении термических сопротивлений и лимитирующем сопротивлении. Пути интенсификации процессов теплообмена и повышения их термодинамической эффективности.</p> <p>Массообменные процессы. Основные принципы массообменных процессов в системах газ–жидкость, жидкость–жидкость, газ–твердое тело, жидкость–твердое тело. Равновесные, кинетические и механические факторы в организации процессов межфазного массообмена. Моделирование стационарного процесса абсорбции. Аналогия с теплообменом. Коэффициенты массопереноса; полуэмпирические критериальные соотношения. Средства интенсификации массообмена.</p> <p>Аппаратурное оформление и моделирование процессов разделения смесей веществ методом ректификации. Другие аналогичные процессы разделения, осуществляемые по схеме с обращением потока смеси. Расчет требуемой высоты колонны для заданной степени разделения в стационарном безотборном режиме работы колонны. Связь между глубиной разделения и производительностью колонны. Основные источники энергозатрат в ректификации и пути их снижения.</p> <p>Мембранная технология разделения смесей веществ. Равновесные и кинетические факторы, определяющие эффективность мембранного</p>
--------------	--

		<p>разделения. Иерархическая структура современных мембранных материалов. Теоретическая минимальная работа разделения. Конструкция мембранных аппаратов. Многоступенчатые каскады разделительных модулей. Комбинирование мембранных и адсорбционных модулей.</p> <p>Проблема масштабного перехода в химической технологии при реализации лабораторных исследований в промышленности. Продольная дисперсия и модель Тейлора-Ариса. Химические реакторы. Основные типы химических реакторов; примеры их использования в технологии важнейших химических продуктов. Принципы построения многоуровневых математических моделей процессов в гетерогенных каталитических реакторах.</p> <p>Химико-технологические процессы как объект управления. Входные и выходные параметры системы; параметры состояния, конструкционные и управляющие параметры; функциональный оператор системы. Задача выбора адекватной математической модели и параметрической идентификации объекта</p>
3	Структура и технологические схемы химических производств	<p>Масштабы мирового производства важнейших групп химических продуктов в тоннажном и стоимостном выражении, удельном энергопотреблении, стоимости и сроках службы основных видов оборудования. Прогнозные данные о сырьевом обеспечении крупномасштабных промышленных химических процессов, включая переработку первичных энергоресурсов во вторичные, производство металлов и полимерных материалов, минеральных удобрений, серной кислоты и т.д. Общие сведения об основных источниках промышленных отходов и выбросов, их воздействие на окружающую среду.</p> <p>Сложность и многовариантность решения задачи синтеза и оптимизации технологической схемы крупного химического производства. Принцип многостадийного осуществления химического преобразования исходного сырья в конечные продукты с оптимальным варьированием вдоль траектории процесса температуры и давления, точек ввода реагентов и вывода побочных продуктов химических превращений, использованием вспомогательных рабочих веществ селективного действия (катализаторов, абсорбентов и т.д.), организацией местных рециклов материальных потоков. Структурная организация процессов теплообмена и вспомогательных потоков теплоносителей в современных технологических системах, направленная на утилизацию теплоты (термической эксергии) экзотермических стадий процесса при проведении его эндотермических стадий. Необходимость оптимизации не отдельных стадий, а технологической схемы производства в целом. Вода как сырье и компонент химических производств; процессы водоподготовки и подсистемы водооборота в промышленности. Подсистемы контроля и управления технологическими процессами. Виды технологического анализа на химических предприятиях. Перспективы использования суперкомпьютеров для анализа динамического поведения многоступенчатых технологических систем и оптимального управления действующими производствами</p>
4	Анализ технологических схем некоторых важней-	<p>Технология связывания азота (2 лекции).</p> <p>Ключевое значение технологии связывания атмосферного азота в производстве продовольствия. Структура современного производства аммиака из природного газа: основные блоки и связи. Гибкое</p>

<p>ших химиче-ских производств</p>	<p>использование гетерогенных катализаторов в многоступенчатой схеме приготовления и очистки азотоводородной смеси. Наиболее важные схемные решения, направленные на энергосбережение: сопряжение эндотермической реакции конверсии метана и экзотермических процессов окисления топлива в шахтном реакторе; последовательное снижение температуры на стадиях конверсии оксида углерода; распределенный по высоте абсорбера ввод абсорбента (раствора МЭА) с различной степенью регенерации и соответственно распределенный отвод регенерированного раствора из десорбера; инфраструктура потоков теплоносителей – воды и пара. Особенности циркуляционной схемы синтеза аммиака; физико-химические основы выбора оптимальной схемы синтеза аммиака; профилирование температуры по высоте колонны синтеза. Утилизация «продувочных» газов. Оценка потерь эксергии и капитальных затрат на различных стадиях производства аммиака и современные тенденции в его оптимизации.</p> <p>Структура и основные особенности современной технологической схемы производства азотной кислоты. Физико-химические основы и аппаратурное оформление процессов селективного каталитического окисления аммиака, окисления оксидов азота и их абсорбции. Схемы каталитического обезвреживания отходящих газов. Причины низкой эксергетической эффективности производства азотной кислоты. Производство нитрата аммония. Использование теплоты нейтрализации. Производство карбамида. Перспективы биотехнологии в решении проблемы фиксации азота в почвах.</p> <p>Переработка фосфорсодержащего сырья (2 лекции).</p> <p>Виды фосфорсодержащего сырья: апатиты и фосфориты, мировые запасы и основные месторождения. Различия минералогического состава и свойств, определяющие выбор способа технологической переработки. Современное состояние производства и потребления фосфора и фосфорных кислот. Экстракционная кислота как основа производства минеральных удобрений. Электротермический способ получения элементарного фосфора и термической фосфорной кислоты. Плавные фосфаты.</p> <p>Физико-химические основы разложения природных фосфатов серной, азотной и фосфорной кислотами. Состав и концентрация образующейся фосфорной кислоты в зависимости от температуры и способа разложения апатита. Выделение и утилизация фтористых газов. Баланс по фтору в производстве фосфорной кислоты и удобрений.</p> <p>Производство экстракционной фосфорной кислоты и удобрений – основной потребитель мирового производства серной кислоты. Современное состояние производства серной кислоты из различных видов сырья (природная сера, колчедан, серосодержащие отходящие газы переработки полиметаллических руд, сера и сероводород из нефтей и природного газа). Фосфогипс – отход производства экстракционной фосфорной кислоты – потенциальный источник сырья для получения серной кислоты и построения замкнутых циклов в производстве удобрений.</p> <p>Переработка нефти (3 лекции)</p> <p>Мировые запасы нефти, основные показатели распространенности и потребления нефти по странам. Основные целевые продукты нефтепереработки. Первичные и вторичные процессы нефтепереработки.</p>
------------------------------------	---

		<p>Глубокая переработка нефти с использованием каталитических процессов – основа ресурсосбережения и получения высококачественных моторных топлив, смазочных масел и широкого ассортимента сырья для нефтехимического и микробиологического синтеза.</p> <p>Каталитический крекинг – важнейший многотоннажный технологический процесс переработки нефтяных фракций. Химические основы процесса и целевые продукты. Многовариантный состав керосиногазойлевых фракций – основного сырья процесса каталитического крекинга и методы его подготовки (гидрообессеривание и гидроочистка).</p> <p>Алюмосиликатные катализаторы крекинга (от природных глин до современных цеолитсодержащих синтетических катализаторов). Роль аморфной алюмосиликатной матрицы. Синергизм в системе цеолит – матрица. Гибкость процесса по сырью за счет целенаправленного модифицирования катализатора (введение матрицы, полизарядных катионов, ультрастабилизация), придание устойчивых механических и гидромеханических свойств (микросферизация, введение баритов и пр.). Изменение свойств катализатора (активности и селективности) в процессе крекинга и необходимость регенерации катализатора. Роль процессов массопереноса в осуществлении каталитического крекинга.</p> <p>Эволюция технологического оформления процесса каталитического крекинга: стационарный слой катализатора, псевдооживленный слой микросферного катализатора, движущийся слой гранулированного катализатора, движущийся слой шарикового катализатора с соосным расположением реактора и регенератора с пневмотранспортом, крекинг в лифт-реакторе с дожигом CO в CO<sub>2</sub> и улавливанием сернистых соединений в регенераторе.</p> <p>Основные технологические параметры современного процесса: температура, давление, объемная скорость подачи сырья, кратность циркуляции катализатора и его характеристика. Влияние массовых потоков в реакторе и регенераторе на устойчивость температурных режимов каталитического крекинга и эффективность процесса в целом. Совершенствование процесса: повышение активности и прочности катализаторов, применение схем с полусквозным потоком катализатора, сопряжение каталитического крекинга с другими каталитическими процессами – каталитический реформинг, платформинг, висбрекинг и др.</p> <p>Производство полиэтилена (2 лекции).</p> <p>Сырье для производства полиэтилена (ПЭ). Технологическая схема подготовки сырья для производства ПЭ. Промышленное получение ПЭ. Сравнение различных технологических схем получения ПЭ. Получение ПЭ низкой плотности. Основные особенности технологической схемы радикальной полимеризации этилена при высоком давлении в газовой фазе в трубчатых реакторах. Получение ПЭ высокой плотности. Технология переработки и области применения ПЭ и изделий из него.</p> <p>Химическая модификация ПЭ как метод промышленного получения полимеров с принципиально новыми эксплуатационными свойствами. Хлорированный полиэтилен (ХПЭ). Основные эксплуатационные свойства ХПЭ. Понятие о композиционной неоднородности ХПЭ.</p>
--	--	---

		<p>Влияние общего содержания хлора и композиционной неоднородности ХПЭ на его эксплуатационные свойства. Хлорсульфированный полиэтилен (ХСПЭ). Основные эксплуатационные свойства ХСПЭ. Особенности радикальной реакции сульфохлорирования ПЭ в растворе. Механизмы вулканизации ХСПЭ. Экологические аспекты производства ПЭ и изделий на его основе.</p> <p>Электрохимические производства (2 лекции).</p> <p>Основы процесса электролиза. Баланс напряжения и расход электроэнергии на электролиз. Выход по току. Материальный и тепловой балансы электролизера. Основы теории переноса ионов в растворах электролитов и в мембранах. Распределение газосодержания в межэлектродном пространстве. Анализ влияния неоднородностей распределения тока на выход по току побочных продуктов.</p> <p>Производство хлора и каустической соды. Реакции на электродах. Типы промышленных электролизеров. Электролизеры с твердым катодом: диафрагменный и мембранный. Электролизер с ртутным катодом. Реактор для разложения амальгамы. Электролизер для электролиза расплавов хлоридов щелочных металлов. Основные стадии производства хлора и каустической соды. Физико-химические основы конденсации жидкого хлора, хранение и транспортировка жидкого хлора. Осушка и перекачка водорода. Выпарка и плавка каустической соды. Экологические проблемы производства хлора и каустической соды.</p> <p>Производство алюминия и железа (1 лекция).</p> <p>Электролит в производстве алюминия. Анодные и катодные реакции. Типы и конструкции электролизеров. Анодные и катодные материалы в производстве алюминия. Проблема малоизнашиваемого анода.</p> <p>Электрохимические производств других металлов. Экологические проблемы производства металлов. Производство железа.</p> <p>Производство материалов на основе углерода (2 лекции).</p> <p>Общие сведения об углеродных материалах. Элемент углерод, изотопы. Химические связи в углеродных материалах. Аллотропные формы углерода: алмаз, лонсдейлит, графит, карбин, наноструктурированный углерод, графитоподобный углерод, аморфный углерод. Графит и материалы на его основе: основные виды технологических процессов получения углеграфитовых материалов. Компактирование терморасширенного графита без связующего и получение листовых углеродных материалов. Свойства и применение композиционных материалов на основе терморасширенного графита в разных областях. Углеродные волокна. Получение углеродных волокон из полиакрилонитрилльных (ПАН) волокон. Формирование углеродных волокон из пеков.</p> <p>Производство композиционных материалов (3 лекции).</p> <p>Классификация и общие представления о композиционных материалах. Свойства, назначение, масштабы производств, экономические показатели. Основные виды связующих для полимерных композиционных материалов: термореактивные и термопластичные связующие, их достоинства и недостатки. Основные принципы выбора связующих для конструкционных материалов.</p>
--	--	---



		<p>Термореактивные (олигомерные) связующие. Методы определения свойств и технических характеристик термореактивных связующих. Основные классы термореактивных связующих. Кремнийорганические связующие. Фенолоальдегидные смолы: новолачные и резольные, металлокомплексные. Амино-альдегидные смолы. Эпоксидные смолы. Отвердители.</p> <p>Наполнители и армирующие материалы Основные виды наполнителей. Способы получения и классификации искусственных (синтетических) и натуральных (природного происхождения) волокон. Сравнительные характеристики физико-химических свойств волокон (стеклянные, базальтовые, кремнеземные, кварцевые, полимерные углеродные, волокна из металлов и кремния, бор-содержащие и карбид-кремниевые волокна). Место неорганических и органических волокон в сравнении с другими материалами. Основные способы получения органических и неорганических волокон. Сырьевая база для получения волокон. Минеральные дисперсные наполнители. Мел, каолин, кварц, металлические порошки, магнитные наполнители, гидроокись алюминия, окись сурьмы и др. антипирены, сажа, графит, микросферы. Методы подготовки наполнителей и обработки поверхности. Коротковолокнистые и пластинчатые наполнители. Силикат кальция, асбест, микротонкие волокна, рубленые стеклянные и базальтовые волокна, нитевидные монокристаллы, слюда, тальк и др. чешуйчатые и ленточные наполнители. Армирующие материалы на основе волокон (маты, бумага и пр.).</p>
--	--	---

### Лабораторные работы

№ раздела	№ ЛР	Наименование лабораторных работ
1, 2, 5	1	Введение в моделирование и оптимизацию химико-технологических процессов в AspenONE. Химические превращения и выбор реакторов.
1, 2,5	2	Введение в моделирование и оптимизацию химико-технологических процессов AspenONE. Процессы и технологии нефтепереработки.
1, 2, 5	3	Введение в моделирование и оптимизацию химико-технологических процессов AspenONE. Технологические процессы предподготовки природного газа.
4	4	Процессы разделения газовых смесей из воздуха газов на мембранных модулях.
2, 4	5	Основы технологии пенографита.
4	6	Механо-прочностные свойства графитовой фольги в зависимости от условий получения.
2	7	Технология изготовления уплотнений на действующем производстве ( ЗАО «УНИХИМТЕК» г. Климовск)
4	8	Экологические проблемы нефтепереработки. Сорбция нефти
4	9	Получение армирующих материалов на примере базальтового волокна.
4	10	Полимерные композиционные материалы. Технология получения образцов методом вакуумной инфузии.
4	11	Полимерные композиционные материалы. Технология получения образцов из препрегов.
4	12	Полимерные композиционные материалы. Методы определения прочностных свойств.
4	13	Полимерные композиционные материалы. Выбор технологии получения

		деталей сложной формы
3	14	Определение коэффициента теплообмена.
3	15	Термодинамическая эффективность дистиллятора очистки воды от минеральных солей.
1	16	Электрофизические свойства керамики в зависимости от условий получения.
1	17	Основы технологии топливных элементов.

Каждый студент выполняет 10 лабораторных работ. Пять лабораторных работ №№ 1, 2, 5, 14, 15 являются обязательными. Остальные 5 лабораторных работ студент выбирает самостоятельно из предложенного списка.

### Расчетный практикум

№ раздела	№ занятия	Тема
1-5	1	От колбы к реактору.
2	2	Метод интегральных балансов для анализа химико-технологических процессов: Интегральные балансы потоков массы, энергии и энтропии.
2	3	Метод интегральных балансов для анализа химико-технологических процессов: Генерация энтропии в простых технологических операциях (теплообмен, перемешивание, химическая реакция).
2	4	Метод интегральных балансов для анализа химико-технологических процессов: Эксергия и коэффициент преобразования энергии. Интегральный баланс потоков энергии.
2	5	Метод интегральных балансов для анализа химико-технологических процессов: Применение метода интегральных балансов для сравнения эффективности технологий промышленного получения водорода паровой конверсией и электролиза воды.

### Вопросы и задания текущего, промежуточного и итогового контроля

#### Примеры контрольных заданий:

1. Определение и свойства полимерных композиционных материалов (ПКМ).
2. Методы получения изделий из ПКМ.
3. Последовательность сборки пакета для получения изделия из ПКМ на основе вакуумной инфузии.
4. В чем преимущество использования интегральных уравнений баланса характеристик потоков в стационарных системах?
5. В чем основное отличие уравнений баланса энергии и массы от уравнения баланса энтропии?
6. Основные термодинамические операторы, используемые при анализе обратимых преобразований в системе.
7. Рассмотрите альтернативную технологическую схему паровой конверсии метана, основанную на отборе эксергии от транзитного потока пара средних параметров.
8. Перечислить экологические проблемы нефтепереработки.
9. Перечислить факторы, влияющие на свойства графитовой фольги.
10. Перечислить стадии получения низкоплотного углеродного материала.
11. Последовательность проектирования технологической схемы производства. Способы задания потоков и аппаратов, графический экран и рабочая тетрадь. Общие принципы проектирования производства и предприятия, взаимосвязь их моделей.

12. Реакторы, присоединение реакций, расчет параметров и выбор реактора, понятие оптимальной конверсии, каскады и сочетания реакторов, рецикл непрореагировавшего сырья в реактор.
13. Особенности ввода колонн любого типа – ректификация, абсорбция и т.д. Спецификации колонны и подбор условий работы колонн для выделения продуктов разделения с требуемыми свойствами. Возврат абсорбентов в цикл - способы десорбции и их схемы.
14. Задание элементов механической группы и составление схем с применением проектирования трубопроводов. Смесители, компрессоры, сепараторы, трубопроводы, фильтры, хранилища, простые разделители и прочее оборудование.
15. Особенности ввода и установки элементов контроля, сигнализации и управления. Уставка и рецикл, вентили, КиП. Ввод и вывод данных контроля условий каждого вида оборудования. Аппаратурный и визуальный методы контроля и управления процессом.

### **Полный перечень вопросов к экзамену**

#### **Основные химические производства.**

1. Понятие химическая технология. Понятие о химико-технологической системе (ХТС). Основные критерии эффективности ХТС. Функциональные элементы химического производства. Сырьевые ресурсы химических производств.
2. Основные типы промышленных химических реакторов. Реакторы для гомогенных и гетерогенных процессов. Основные элементы химико-технологических процессов: механические, гидродинамические, теплообменные, массообменные, реакционные, энергетические аппараты. Оборудование контроля и управления.
3. Природные источники неорганических и органических производств. Вода в химических производствах.
4. Структура химической промышленности. Сырье и базовые продукты химической промышленности.
5. Основные крупнотоннажные химические производства и продукты. Производство минеральных удобрений.
6. Виды и источники энергетических ресурсов химических производств. Природные энергоносители. Мировые запасы нефти.
7. Химический состав нефти. Мировые запасы нефти. Подготовка нефти к переработке. Основные пути переработки нефти. Структура нефтехимического комплекса.
8. Основы процесса ректификации. Типы ректификационных колонн. Обменные тарелки. Процессы, протекающие в ректификационной колонне с обменными тарелками. Флегмовое число.
9. Выбор схемы переработки нефти. Разделение многокомпонентной смеси. Химическая переработка нефти.
10. Важнейшие целевые продукты, получаемые из нефти. Физико-химические свойства нефтей и нефтепродуктов.
11. Первичные процессы переработки нефти. Продукты первичной перегонки нефти. Атмосферная и вакуумная перегонка нефти.
12. Вторичные деструктивные процессы переработки нефти. Термические, термokatалитические и термогидрокаталитические процессы переработки нефти.
13. Переработка нефтезаводских газов. Процессы алкилирования. Полимеризация и изомеризация углеводородов.
14. Глубокая переработка нефти с использованием каталитических процессов – основа ресурсосбережения и получения высококачественных моторных топлив и смазочных масел.
15. Производство минеральных удобрений (фосфорных, азотных и комплексных).
16. Схемы связи неорганических и органических производств.
17. Методы переработки фосфорного сырья. Промышленное использование фосфатной руды и продуктов.
18. Круговорот фосфора в природе. Технологии получения фосфорной кислоты. Основные отходы при производстве фосфорной кислоты. Области применения фосфора и его соединений.

19. Получение синтез-газа и продуктов на его основе. Технологическая схема конверсии метана.
20. Физико-химические основы и аппаратурное оформление технологических процессов связывания азота.
21. Получение аммиака и азотной кислоты в промышленности. Области применения аммиака и азотной кислоты в промышленности.
22. Технология связывания серы. Способы производства серной кислоты. Производство серной кислоты по методу «двойное контактирование – двойная абсорбция». Области применения серной кислоты и оксидов серы в промышленности.
23. Производство армирующих материалов. Основные способы получения органических и неорганических волокон. Основные свойства волокон. Базальтовое волокно и продукты на его основе.
24. Сырьевая база для производства материалов. Степень извлечения полезных компонентов из руд (на примере металлов). Основные направления экономии материалов (на примере металлов).
25. Комплексная переработка сырья. Комплексная переработка фосфорного сырья.
26. Полимерные композиционные материалы - определение, типы, уровни анализа свойств.
27. Полимерные композиционные материалы на основе термопластов, типы, методы получения и свойства. Примеры изделий на их основе.
28. Полимерные композиционные материалы на основе реактопластов, типы, методы получения и свойства. Примеры изделий на их основе.
29. Горение полимеров, стадии горения, Методы анализа горючести. Различия коксообразующих и некоксообразующих полимеров. Типы антипиренов, подходы к выбору антипиренов.
30. Эпоксидные смолы, типы, механизмы отверждения, влияние сетчатой структуры на свойства полимерных композиционных материалов.
31. Методы получения водорода: преимущества, недостатки.
32. Методы хранения водорода, основанные на физических процессах.
33. Методы хранения водорода, основанные на хемосорбционных процессах и реакциях.
34. Типы и свойства аккумулирующих материалов на основе гидридов.
35. Типы химических источников тока. Водородный топливный элемент, принцип действия, проблемы
36. Основные мембранные методы очистки воды. Ультрафильтрация и микрофильтрация. Обратный осмос. Электродиализ. Мембранная дистилляция. Движущие силы процессов.
37. Механизм массопереноса и селективность непористых полимерных мембран. Перфорация и пертрация.
38. Физико-химические основы интеркалирования графита. Технологическая схема получения интеркалированного графита.
39. Физико-химические основы терморасширения интеркалированного графита Технологическая схема получения пенографита.
40. Низкоплотный углеродный материал - графитовая фольга. Факторы, определяющие свойства фольги.
41. Основные физико-механические свойства графитовой фольги, методы определения.
42. Основы производства материалов на основе пенографита. Области применения пенографита.
43. Экономические показатели эффективности действующих производств. Основные ресурсы предприятия, структура затрат на производство, формирование цены товарной продукции. Постоянные и переменные затраты, анализ порога безубыточности.
44. Экономические показатели эффективности инвестиционных проектов. Особенности долгосрочного вложения денежных средств, понятие процедуры дисконтирования, коэффициент дисконтирования, норма дисконта. Факторы неблагоприятного инвестиционного климата.

## Теоретические вопросы химической технологии.

1. Цикл (машина) Карно. Эквивалентность рабочих тел в машине Карно, функция Карно. Вывод формулы для коэффициента полезного действия цикла Карно. Температурная шкала. Абсолютная температура. Температурная шкала Кельвина. Практические шкалы для измерения температуры. Экспериментальное подтверждение Джоулем Второго начала термодинамики.
2. Квалифицированная и неквалифицированная энергия. Особенности взаимного преобразования квалифицированной и неквалифицированной энергии. Цикл Карно как термодинамический оператор оценки эффективности источников теплоты.
3. Стационарное энергопреобразующее устройство. Вывод формулы для коэффициента полезного действия (КПД) для обратимого стационарного энергопреобразующего устройства. КПД цикла Карно. Принципиальное отличие цикла Карно и обратимого энергопреобразующего устройства.
4. Вывод формулы для коэффициента полезного действия (КПД) для обратимого стационарного энергопреобразующего устройства. Фотоэлектрический преобразователь. КПД фотоэлектрического преобразователя. Сравнение КПД фотоэлектрического преобразователя и цикла Карно.
5. Вывод формулы коэффициента полезного действия (КПД) для обратимого стационарного энергопреобразующего устройства. Топливный элемент. КПД водородного топливного элемента.
6. Тепловые насосы. Принципиальная схема компрессионного и адсорбционного тепловых насосов. Вывод формул для оценки эффективности обоих типов тепловых насосов. Возможные причины снижения эффективности тепловых насосов.
7. Принципиальная необратимость электронагревательного устройства. Производство энтропии в электронагревательном устройстве. Основные причины необратимости в химической технологии. Принцип локального термодинамического равновесия как способ, позволяющий распространить понятия классической термодинамики для описания неравновесных систем.
8. Классификация химико-технологических систем по способу взаимодействия с окружающей средой. Условие Гиббса равновесия тела и окружающей среды (вывод). Эксергия. Схема универсальной процедуры эксергетического анализа применительно к химико-технологической системе. Ограниченность понятия «машина Карно» с точки зрения эксергетического анализа. Оператор Карно.
9. Неравенство Клаузиуса. Производство (генерация) энтропии. Общее уравнение для скорости изменения экстенсивного свойства тела. Общее уравнение для скорости изменения энтропии тела. Частные случаи баланса энтропии тела за некоторый промежуток времени.
10. Химико-технологические системы (ХТС). Классификация ХТС по способу взаимодействия с окружающей средой. Основные типы преобразования вещества в ХТС. Принцип многостадийности на примере производства азотной кислоты. Основные критерии эффективности ХТС и их связь с фундаментальными законами.
11. Вывод уравнений материального баланса для химико-технологической системы (ХТС) с произвольным числом входов материальных потоков. Незамкнутость полученной системы уравнений. Возможные условия замыкания полученной системы. Вывод уравнения энергетического баланса для ХТС с произвольным числом входов материальных и тепловых потоков.
12. Вывод уравнений баланса энтропии и эксергии для химико-технологической системы (ХТС) с произвольным числом входов материальных и тепловых потоков. Суммарная работа, совершаемая ХТС над окружающими телами. Схема универсальной процедуры эксергетического анализа применительно к ХТС.
13. Потери эксергии. Теорема Гюи – Стодолы. Коэффициент преобразования эксергии. Понятие о диаграммах Грассмана – Шаргута. Блок-схема и диаграммы Грассмана – Шаргута для электрогенерирующей установки.
14. Энергетическая эффективность получения водорода электролизом воды. Анодные и катодные полуреакции в кислой и щелочной средах. Общее уравнение баланса энтропии для

стационарного электролиза. Уравнения баланса энтропии для обратимого и термически равновесного электролиза. Вывод формул для напряжения разложения воды и потерь эксергии в обратимом и термически равновесном электролизе.

15. Схема получения водорода парофазной конверсией метана, брутто-схемы основных реакций. Количество линейно независимых брутто-схем реакций с участием  $n$  веществ, составленных из  $m$  химических элементов. Основные причины потерь эксергии в процессе парофазной конверсии метана. Вывести формулу для расчета потерь эксергии при изотермическом и изобарическом смешении одного моля метана с  $k$  молями воды. Вывести формулу для расчета потерь эксергии при теплопередаче через стенку каталитической трубки.

16. Установление теплового равновесия между двумя телами, изолированными от окружения. Вывести формулу для расчета потерь эксергии в квазиравновесном процессе теплообмена. Сравнить обратимый и квазистатический процессы при условии, что начальное и конечное состояния системы совпадают.

17. Установление равновесия в замкнутой системе при изотермическом и изобарическом смешении двух идеальных газов. Рассмотреть квазистатический процесс и обратимый процесс. Рассчитать потери эксергии при квазистатическом смешении. Сравнить обратимый и квазистатический процессы при условии, что начальное и конечное состояния системы совпадают.

18. Установление равновесия в замкнутой системе при газофазной химической реакции в условиях постоянного давления и температуры. Рассмотреть квазистатическую и обратимую реакции. Рассчитать потери эксергии при квазистатическом протекании реакции. Сравнить обратимый и квазистатический процессы при условии, что начальное и конечное состояния системы совпадают.

19. Интенсивность перемешивания в объеме реактора: предельные случаи. Основные характеристики интенсивности перемешивания. Функция распределения времени пребывания внутри аппарата, или I-кривая. Дифференциальная функция распределения времени пребывания, или E-кривая. Соотношение между I-кривой и E-кривой. Показать эквивалентность двух определений среднего времени пребывания – гидродинамическое среднее время и первый момент E-кривой.

20. Простые модели реакторов, описывающие предельные режимы интенсивности перемешивания: реакторы идеального перемешивания и вытеснения. Среднее время пребывания, I-кривая и E-кривая для реактора идеального вытеснения и вытеснения.

21. Секционирование реакционного объема: организация каскада ячеек идеального перемешивания внутри реактора идеального перемешивания. Преимущество секционирования объема реактора. Сравнение среднего времени пребывания и дисперсии E-кривой для каскада реакторов идеального перемешивания и секционированного реактора.

22. Экспериментальные методы определения I-кривой и E-кривой. Метод ступенчатого ввода трассирующей метки, F-кривая. Связь F-кривой с I-кривой и E-кривой. Метод импульсного ввода трассирующей метки, C-кривая. Связь C-кривой с E-кривой.

23. Проблема масштабного перехода в химической технологии. Коэффициент масштабного перехода. Теория продольной дисперсии Тейлора. Упрощенный вывод формулы для коэффициента продольной дисперсии.

24. Дисперсия в газовых адсорберах. Основные факторы, оказывающие влияние на эффективность разделения в адсорберах. Вывод формулы Ван Димтера для эффективного коэффициента продольной дисперсии.

25. Основные особенности жидких масс, которые необходимо учитывать при описании движений жидких масс. Подходы Лагранжа и Эйлера при описании движений жидких масс. Субстанциональная производная. Массовые и поверхностные силы, учитываемые при описании движений жидких масс. Тензор напряжений.

26. Движение однокомпонентной однородной жидкости: закон сохранения массы и уравнение неразрывности; закон сохранения импульса и уравнения движения.

27. Представление тензора напряжений суммой тензора давлений и тензора вязких напряжений. Уравнения Эйлера движения идеальной (невязкой) жидкости. Уравнения Навье – Стокса движения вязкой жидкости.

28. Стационарное движение идеальной жидкости несжимаемой жидкости. Вывод формулы интеграла Бернулли для несжимаемой идеальной жидкости. Эффект эжекции, формула Торричелли.
29. Распространение малых возмущений в идеальной сжимаемой среде. Адиабата Пуассона. Вывод уравнения звуковой волны. Расчет скорости звука в изотермическом режиме и изэнтропном режиме, сравнение с экспериментом.
30. Распространение конечных возмущений в идеальной сжимаемой среде. Ударная волна. Фронт ударной волны. Уравнения баланса массы, импульса и энергии на фронте ударной волны. Адиабата Гюгонио (схема вывода). Отличие адиабат Пуассона и Гюгонио. Предел сжатия в ударной волне.
31. Адиабата Гюгонио (схема вывода). Отличие адиабаты Гюгонио от адиабаты Пуассона. Предел сжатия в ударной волне. Числа Маха для потока газа, втекающего в ударную волну, и для потока газа, вытекающего из ударной волны. Переход ударной волны в звуковую волну.
32. Стационарное движение газа в сужающемся канале, течение Гюгонио. Вывод уравнения движения газа в канале переменного сечения. Влияние числа Маха на характер течения Гюгонио. Сопло Лавая. Формулы для расчета истечения газа из резервуара.
33. Интеграл Бернулли для стационарного изэнтропного движения сжимаемой среды (газ). Вывод формулы Бернулли, основанный на Первом начале термодинамики. Полная энтальпия единицы массы движущегося газа. Температура торможения газового потока. Взаимопревращение кинетической энергии движущегося газа и энергии теплового движения молекул.
34. Возникновение устойчивого температурного градиента в закрученном газовом потоке - эффект Ранка. Вывод формулы для расчета распределения температуры в стационарном закрученном потоке идеального газа с использованием адиабаты Пуассона. Численная оценка перепада температур в закрученном потоке.
35. Стационарное движение вязкой жидкости в плоской щели. Профиль скорости жидкости по сечению щели. Максимальная скорость движения жидкости, средняя скорость движения и массовый расход жидкости через сечение.
36. Макрокинетический анализ в химической технологии. Взаимодействие и взаимообусловленность химических и транспортных стадий. Характерные пространственно-временные масштабы. Безразмерные числа и критерии, в чем их различие. Основные безразмерные числа и их физико-химический смысл: числа Дамкелера, Био, Пекле, Шервуда, Прандтля, Шмидта, Нуссельта, Рейнольдса, Рэлея.

## Основная литература

- Бесков В.С. Общая химическая технология. М. Академкнига. 2005. 452 с.
- Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты в химической технологии: В 2 кн. М.: Альянс, 2010.
- Игнатович Э. Химическая техника. Процессы и аппараты. Перевод с немецкого. 2007. 651 с.
- Егорова Е.И., Коптенармузов В.Б. Основы технологии полистирольных пластиков. С.-П. Химиздат 2005. 272 с.
- Баженов С.Л., Берлин А.А., Кульков А.А., Ошмян В.Г. Полимерные композиционные материалы. Долгопрудный. Интеллект. 2010. 352 с.
- Кутепов А.М., Бондарева Т.И., Беренгартен М.Г. Общая химическая технология. М.: Высш. шк., 1990.
- Рамбиди Н.Г., Березкин А.В. Физические и химические основы нанотехнологий. М. Физматлит. 2008. 456 с.
- Лебедев Н.Н. Химия и технология основного органического и нефтехимического синтеза. М.: Альянс, 2010.

Основы технологии переработки пластмасс/ Под ред. В.Н.Кулезнева, В.К.Гусева. М.: Химия, 1995.

Кузнецов Л.Д., Дмитренко Л.М., Рабина П.Д., Соколинский Ю.А.. Синтез аммиака. М.: Химия, 1982.

### **Дополнительная литература**

Берд Р., Стьюарт В., Лайтфут Е. Явления переноса. М.: Химия, 1974.

Биотехнология. Принципы и применение/ Под ред. И.Хиггинса, Д.Беста, Дж.Джорнса. М.: Мир, 1988.

Вест А. Химия твердого тела. Теория и приложения: В 2 ч. М.: Мир, 1988.

Вольфкович С.И, Егоров А.П., Эпштейн Д.А. Общая химическая технология. Л.: Госхимиздат, 1953; Т.1.

Вольфкович С.И., Роговин З.А., Руденко Ю.П., Шманенков И.В. Общая химическая технология. М.: Госхимиздат, 1959; Т.2.

Избранные главы химической технологии: Выпуск 1. М.С.Сафонов, Критерии термодинамического совершенства технологических систем. М.: Отдел опер. печати Хим. фак. МГУ, 1998.

Франк–Каменецкий Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. М.: Наука, 1987.

Шервуд Т., Пигфорд Р.Л., Уилки Ч. Массопередача. М.: Химия, 1982.

Якименко Л.М. Производство хлора, каустической соды и неорганических хлорпродуктов. М.: Химия, 1974.

Аверко-Антонович Л.А., Аверко-Антонович Ю.О., Давлетаева И.М., Кирпичников П.А. Химия и технология синтетического каучука. М. КолосС. 2008.357 с.

### **Интернет-ресурсы**

<http://www.chemtech.land.ru/Lect/Lect.html>

### **Программное обеспечение современных информационных компьютерных технологий**

Для практикума по оптимизации и проектированию химико-технологических процессов необходимо программное обеспечение (поставляемое только для учебных целей) :

- университетская лицензия и программа AspenOne, производитель и поставщик Aspen Technology, Inc., USA.

- университетская лицензия и программа VMGsim, производитель и поставщик Virtual Materials Group, Inc., Canada.

- Программа "GKSS" для расчета характеристик газо- и паропроницаемости пленочных образцов, GKSS – программа (Германия)

- Программа хроматографического анализа (газовой хроматографии) "ЕКОХРОМ", Россия.

- Программа хроматографического анализа "Феникс" версия 3.32, BSoft, Россия.

### **Методические указания к лабораторным занятиям**

1. Гасанова Л.Г., Яблокова М.Ю., Барышникова О.В. Введение в моделирование и оптимизацию процессов химической технологии в AspenOne®: очистка кислых газов водными растворами этаноламинов. Москва, 2012, с. 59.
2. Гасанова Л.Г., Яблокова М.Ю. Введение в моделирование и оптимизацию процессов химической технологии в AspenOne®: получение пропиленгликоля. Москва, 2012, с.43.



3. Гасанова Л.Г., Яблокова М.Ю. Введение в моделирование и оптимизацию процессов химической технологии в AspenOne®: выбор реактора и условий его работы. Москва, 2012, с.52.
4. Лазорьяк Б.И., Моисеев Е.А., Гутников С.И. Получение и изучение физико-механических свойств непрерывных волокон. Москва, 2007, с.64.
5. Лазорьяк Б.И., Стефанович С.Ю. Определение электрофизических свойств твердых материалов. Москва, 2012, с.43.
6. Пожарский С.Б., Макунин А.В., Грановский М.С., Левченко С.Л. Оценка эффективности очистки воды от минеральных солей в дистилляторе. Москва, 2007, с. 24.
7. Сорокина Н.Е., Лешин В.С., Максимова Н.В., Ионов С.Г., Авдеев В.В. Технология получения терморасширенного графита и графитовой фольги. Методы исследования их физико-химических свойств, Москва, 2007, 47 с.
8. Сафонов М.С., Пожарский С.Б. Метод интегральных уравнений баланса потоков массы, энергии и эксергии в анализе химико-технологических систем. Москва, 2003, с.93.
9. Архангельский И.В., Добровольский Ю.А., Смирнова Т.Н., Саввин С.Н., Лысков Н.В., Дунаев А.В., Рогачева А.Е., Авдеев В.В. Низкотемпературные топливные элементы с протонпроводящей полимерной мембраной: теоретические основы, материалы и конструкции. Москва, 2007, с. 84.
10. Хейфец Л.И., Окунев Б.Н., Павлов Ю.В. Определение коэффициента теплообмена. Москва, 2013, с.33.
11. Тепляков В.В., Алентьев А.Ю., Малых О.В., Костина Ю.В. Сравнительный анализ мембранных модулей различного типа для получения азотсодержащих газовых смесей из воздуха. Москва, 2010, с.32.
12. Яблокова М.Ю. Полимерные композиционные материалы: методы получения. Москва, 2011, с.56.