

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»
Химико-технологический институт



УТВЕРЖДАЮ
Проректор по науке
А.В. Германенко
2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Технология органических веществ

Перечень сведений о рабочей программе дисциплины	Учетные данные
Программа аспирантуры <i>Технология органических веществ</i>	Код ПА 2.6.14.
Группа специальностей <i>Химические технологии, науки о материалах, металлургия</i>	Код 2.6.
Федеральные государственные требования (ФГТ)	Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 20.10.2021 г. № 951
Самостоятельно утвержденные требования (СУТ)	Приказ «О введении в действие «Требований к разработке и реализации программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре УрФУ» от 31.03.2022 №315/03

Екатеринбург
2022 г.

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	ФИО	Ученая степень, ученое звание	Должность	Структурное подразделение	Подпись
1	Бельская Наталия Павловна	Д.т.н., профессор	Профессор 	Кафедра технологии органического синтеза	
2	Нейн Юлия Ивановна	К.х.н., доцент	Доцент 	Кафедра технологии органического синтеза	

Рекомендовано учебно-методическим советом Химико-технологического института

Председатель учебно-методического совета
Протокол № __6__ от __30.05.2022__ г.



[А.Б.Даринцева]

Согласовано:

Начальник ОПНПК



[Е.А. Бутрина]

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЦИПЛИНЫ ТЕХНОЛОГИЯ ОРГАНИЧЕСКХ ВЕЩЕСТВ

1.1. Аннотация содержания дисциплины

Дисциплина «ТЕХНОЛОГИЯ ОРГАНИЧЕСКХ ВЕЩЕСТВ» относится к базовой части программы аспирантуры и направлена на подготовку высококвалифицированных грамотных специалистов в области органической химии.

Цель дисциплины: получение аспирантами знаний по технологии органических веществ.

Изучение дисциплины предполагает выполнение следующих задач:

- изучение теоретических основ органической химии и механизмы реакций органических соединений;
- изучение методов получения органических соединений и перспектив развития промышленности органического синтеза;
- изучение принципов технологии органического синтеза, химических реакторов для процессов органического синтеза
- изучение физико-химических основ процессов органического синтеза
- приобретение новых научных знаний в области теоретических основ и практик использования разделительных и реакционно-массообменных процессов в промышленности органического синтеза;
- формирование умений по разработке оптимальных технологических схем производства органических соединений, по применению ЭВМ при создании, проектировании и управлении производством.

1.2. Язык реализации дисциплины – русский.

1.3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

Знать:

- структуру и основные свойства органических веществ;
- методы исследования органических веществ;
- физико-химические основы технологии органических веществ;
- основные закономерности процессов технологии органических веществ;
- технологии производства основных продуктов органического синтеза.

Уметь:

- использовать методы исследования органических веществ;
- пользоваться физико-химическими основами и основными закономерностями процессов при разработке технологий органических веществ;
- разрабатывать энерго-, ресурсосберегающие и экологически чистые технологии получения органических веществ.

Владеть (демонстрировать навыки и опыт деятельности):

- современными методами исследования органических веществ;
- энерго-, ресурсосберегающими и экологически чистыми технологиями получения органических веществ;
- управлять процессами формирования структуры и заданных свойств органических веществ;
- навыками работы с научной литературой с целью определения направления исследования и решения специализированных задач.

1.4. Объем дисциплины

№ п/п	Виды учебной работы	Объем дисциплины		Распределение объема дисциплины в 6 семестре (час.)
		Всего часов	В т.ч. контактная работа (час.)*	
1.	Аудиторные занятия	4		4

2.	Лекции	4	4	4
3.	Самостоятельная работа аспирантов, включая все виды текущей аттестации	104	1	104
4.	Промежуточная аттестация	104	1	э
5.	Общий объем по учебному плану, час.	108		108
6.	Общий объем по учебному плану, з.е.	3		3

*Контактная работа составляет:

в п/п 2,3, - количество часов, равное объему соответствующего вида занятий;

в п.4 – количество часов, равное сумме объема времени, выделенного преподавателю на консультации в группе (15% от объема аудиторных занятий).

в п.5 – количество часов, равное сумме объема времени, выделенного преподавателю на проведение соответствующего вида промежуточной аттестации одного аспиранта.

2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ п/п	Наименование разделов и тем дисциплины	Содержание
P1	Теоретические основы органической химии и механизмы реакций органических соединений	<p>Определение понятия «механизм реакции». Факторы, от которых зависит осуществление элементарного акта между реагирующими частицами: электронные (возникновение реакционных центров) и пространственные (доступность реакционных центров).</p> <p>Квантово-химические расчеты реакционной способности. Анализ реакционной способности органических соединений с помощью методов МО.</p> <p>Классификация реагентов. Нуклеофильные, электрофильные и радикальные реагенты. Их особенности и основные типы.</p> <p>Классификация реакций. Классификация по химическому характеру (реакции замещения, присоединения, отщепления, молекулярные перегруппировки) и по характеру изменения связей.</p> <p>Реакции замещения. Общая характеристика. Особенности ароматических соединений. Правило Хюккеля. Ароматические карбокатионы и карбоанионы. Гетероциклические соединения.</p> <p>Электрофильное замещение; п - и о -комплексы. Механизм и кинетика реакций электрофильного замещения.</p> <p>Ориентация при электрофильном замещении. Влияние заместителей на распределение электронной плотности в основном и переходном состояниях. Относительная константа скорости. Пространственное влияние заместителей.</p> <p>Нуклеофильное замещение. Особенности нуклеофильного замещения у ненасыщенного и насыщенного атомов углерода. Особенности реакций нуклеофильного замещения в ароматических соединениях. Механизм реакций - мономолекулярный, бимолекулярный (присоединение-отщепление), ариновый, ион-радикальный.</p> <p>Радикальное замещение. Механизм реакции. Влияние различных факторов. Соотношение изомеров. Образование и устойчивость радикалов. Радикальные реакции, протекающие по цепным механизмам.</p> <p>Реакции присоединения. Общая характеристика. Реакции нуклеофильного, электрофильного и радикального присоединения. Правило Марковникова и эффект Караша.</p> <p>Реакции отщепления (элиминирования). Общая характеристика.</p>

		Бимолекулярное и мономолекулярное отщепление.
P2	Методы получения органических соединений	<p>Галогенирование. Прямое галогенирование, основные методы и их сравнительная оценка. Использование галогенводородов, механизм и региоспецифичность реакции.</p> <p>Применение серо- и фосфорорганических галоидных соединений. Замена атома галогена на другие атомы и группы. Замена на гидроксильную группу, цианогруппу и др.</p> <p>Сульфирование. Введение сульфогруппы в алифатические и ароматические соединения. Сульфохлорирование. Сульфамиды, их получение и свойства. Сульфаниламидные препараты. Замена сульфогруппы на другие атомы и группы.</p> <p>Нитрование. Введение нитрогруппы в алифатические и ароматические соединения. Реагенты, условия проведения реакции. Превращения нитрогруппы. Примеры использования реакции нитрования в синтезе биологически активных соединений.</p> <p>Нитрозирование. Реагенты и условия проведения реакции. Применение реакции нитрозирования, синтез пирамидона и анальгина. Нитрозирование по атому азота. Диазометан и диазопарафины.</p> <p>Диазотирование. Механизм реакции и условия проведения. Свойства диазосоединений, их анализ. Реакции азосочетания. Использование реакций азосочетания. Превращения диазогруппы. Синтез пиразолонов. Дезаминирование, способ Грисса и новые модификации. Реакция Зандмейера. Замена диазогруппы на другие заместители.</p> <p>Окисление. Общие закономерности. Реакции окисления по атому углерода. Окисление металлических и метиленовых групп до первичных и вторичных спиртов, альдегидов и кетонов, карбоновых кислот. Наиболее распространенные реагенты, условия проведения реакций.</p> <p>Реакции окисления и каталитического дегидрирования. Окисление кратных связей углерод-углерод. Реагенты для окисления двойных и тройных связей. Расщепление гликолей. Окислительное расщепление вторичных спиртов и кетонов.</p> <p>Восстановление. Типы реакций восстановления. Гидрирование. Катализаторы, теория катализа, классификация катализаторов. Гомогенный и гетерогенный катализ.</p> <p>Реакции восстановления в результате передачи гидрид-иона.</p> <p>Нуклеофильные гидриды. Комплексные гидриды. Примеры восстановления. Восстановление с помощью металлоорганических соединений. Реактивы Гриньяра. Восстановление под действием металлов (Na, Mg, Zn). Условия проведения реакций, механизм, стереохимия.</p> <p>Окислительно-восстановительные реакции. Реакции Оппенгауэра—Мейервейна—Пондорфа. Условия проведения и механизм. Реакция Канниццаро—Тищенко.</p> <p>Реакции элементоорганических соединений (ЭОС). Классификация ЭОС. Методы синтеза и свойства. Особенности магний-, цинк-, кадмий-, алюминий-, литийорганических соединений. Использование ЭОС в тонком органическом синтезе. Способы получения ртуть-, мышьяк- и фосфорорганических соединений. Их применение в химии биологически активных соединений. Соединения бора. Способы получения и реакции.</p>

		<p>Ацилирование. Реакция Фриделя—Крафтса, условия проведения. Примеры использования в химии биологически активных соединений. Формилирование ароматических соединений. Реакция Вильсмейера. Условия проведения, реагенты.</p> <p>Фосфорилирование. Реакции фосфорилирования при создании моно-, ди- и триэфиров ортофосфорной кислоты. Механизм образования. Возможные побочные реакции. Стратегия синтеза. Методы активации фосфорной кислоты. Хлорфосфатный метод, использование смешанных ангидридов фосфорных кислот, дидиклогексилкарбодимидный метод, реакции с использованием фосфатинов. Достоинства и ограничения методов.</p> <p>Использование защитных групп в тонком органическом синтезе и химии биологически активных соединений. Защиты С-Н-связей в ацетиленовых и ароматических соединениях. Защита N-N связей. Образование новой N-C-связи. Производные уретанового синтеза. Алкильные и арильные производные. Силильные защиты. Защиты гидроксильной группы. Защиты карбоксильной группы. Способы получения различных эфиров, их устойчивость и методы деблокирования. Защита тиолов путем введения защитных групп за счет модификации сульфгидрильного заместителя. Методы защиты альдегидов и кетонов. Защита кратных углерод-углеродных связей.</p> <p>Реакции конденсации. Типы реакций. Взаимодействие карбонильных соединений с С-Н-кислотами. Получение аминокислот по Штреккеру Альдольно-кетоновая конденсация. Условия проведения. Реакции Кневенагеля, Перкина и др. Синтез глицидных эфиров по Дарзану. Сложноэфирная кляйзеновская конденсация. Реакция Михаэля, использование в химии природных соединений. Реакция Манниха. Реакция Виттига, реагенты, условия проведения, регио- и стереоспецифичность. Реакция Дильса—Альдера. Конденсация Дэкина—Веста, Арндта—Эйстерта. Реакция Кнорра. Конденсация Бишлера—Напиральского.</p> <p>Перегруппировки. Классификация перегруппировок. Реакции, протекающие при образовании заряда, не сопряженного с кратными связями. Миграция углеродного остатка от атома углерода к другому атому углерода.</p> <p>Нуклеофильные и электрофильные перегруппировки. Образование положительного заряда на атоме углерода за счет поляризации двойной связи, отщепления галогена, гидроксила, diazo-группы. Положительный заряд на атоме азота, способы образования. Перегруппировки при образовании заряда на кислороде. Перегруппировки аллильного типа. Радикальные, нуклеофильные и электрофильные перегруппировки. Перенос остатка с углерод на углерод, с гетероатома на углерод.</p> <p>Использование новых реагентов в тонком органическом синтезе. Реагенты на полимерных носителях, их применение и преимущества. Межфазный катализ с использованием гетерофазных реагентов. Краун-эфиры. Примеры использования новых реагентов в химии природных соединений.</p>
РЗ	Принципы технологии органического синтеза	<p>Основные направления развития органического синтеза (ОС) как отрасли. Специфика и системные закономерности этой отрасли. Экологическая характеристика отрасли и ее отдельных производств. Проблемы, стоящие перед отраслью органического синтеза. Общие подходы к созданию безотходных энергосберегающих производств и перспективы развития последних. Ключевые принципы, используемые при создании безотходных производств и их классификация.</p>

		<p>Методологические принципы. Роль системного подхода в создании безотходных производств.</p> <p>Химические принципы. Создание малостадийных химических производств. Разработка методов получения продуктов из доступного и дешевого сырья. Разработка высокоэффективных процессов. Применение «сопряженных» методов получения продуктов. Разработка технологий, позволяющих достигать высоких конверсий. Совмещение нескольких реакций, направленных на получение одного и того же целевого продукта.</p> <p>Технологические принципы. Использование рециркуляции по компонентам и потокам. Применение совмещенных процессов. Полнота выделения продуктов из реакционной смеси. Разработка процессов с низким энергопотреблением. Полнота использования энергии системы. Разработка технологии с минимальным расходом воды и использованием ее кругооборота. Полнота использования газовых потоков и очистка газовых выбросов. Применение аппаратов и технологических линий большой единичной мощности. Применение непрерывных процессов. Полнота использования жидких и твердых отходов. Высокая степень автоматизации. Обеспечение высокой надежности и стабильности работы химико-технологической системы.</p> <p>Организационные принципы. Особенности применения принципов при создании безотходных производств. Необходимость использования полной совокупности принципов (т.е. системного подхода) для оценки эффективности технологии. Понятие предельно эффективной технологии. Экономическое обоснование безотходной технологии. Алгоритм разработки безотходного производства. Последовательность выбора оптимального варианта безотходной технологии.</p>
Р4	Физико-химические основы процессов органического синтеза	<p>Основы термодинамики химических процессов и фазовых равновесий. Термодинамические закономерности химических и фазовых равновесий для реальных многокомпонентных систем. Характеристические функции, химические потенциалы. Понятие активности и коэффициентов активности, методы их расчета и экспериментального определения для реальных газов и жидкостей (растворов). Принципы расчета фазовых и химических равновесий для реальных многокомпонентных систем и сложных реакций. Закон действия масс. Стехиометрический анализ сложных реакций. Степень завершенности реакции.</p> <p>Термодинамический анализ важнейших реакций органического синтеза (хлорирования, окисления, гидрирования и дегидрирования, гидратации и дегидратации, этерификации и гидролиза, карбонилирования и алкилирования и др.) и выбор условий их проведения.</p> <p>Математическое моделирование фазовых равновесий жидкость-пар, жидкость-жидкость, жидкость-жидкость-пар, жидкость-твердое тело. Явления азеотропии, хемиазеотропии и полиазеотропии.</p> <p>Предельные законы фазового равновесия (законы Рауля и Дальтона). Анализ статики многофазных реакционных систем с избирательным обменом с внешней средой. Основные понятия термодинамико-топологического анализа структура диаграмм фазового равновесия.</p> <p>Кинетика, механизм и катализ органических реакций. Активные частицы (промежуточные соединения) в органическом синтезе. Ионы, радикалы, карбены, ион-радикалы, комплексы металлов, металлоорганические соединения. Основы теории реакционной способности органических соединений. Связь кинетики с термо-</p>

		<p>динамикой. Принцип Белла—Эванса—Поляни. Уравнения Бренстеда, Гаммета, Тафта, Поляни—Семенова. Правила отбора элементарных стадий при выдвижении гипотез о механизме реакций.</p> <p>Гетеролитические и гомолитические механизмы. Нуклеофильные и электрофильные реакции замещения, присоединения и отщепления в органическом синтезе. Кинетика и механизм этих реакций. Влияние среды. Кислотный и основной катализ в гетеролитических реакциях. Протонные и апротонные кислоты. Промышленные катализаторы. Механизм реакций и особенности кинетики процессов гидратации, дегидратации, алкилирования, полимеризации, гидролиза, этерификации, крекинга.</p> <p>Радикально-цепные процессы в промышленном органическом синтезе. Механизм, инициаторы, катализаторы, ингибиторы. Кинетические модели реакций хлорирования, окисления, пиролиза и полимеризации.</p> <p>Металлокомплексный катализ в промышленном органическом синтезе. Строение комплексов металлов. Природа и механизм основных стадий каталитических реакций с участием металлокомплексов.</p> <p>Особенности кинетики реакций в случае металлокомплексного катализа. Катализаторы и механизм реакции карбонилирования метанола, процесса оксосинтеза, процессов окисления олефинов кислородом и гидропероксидами, процессов гидрирования и полимеризации, метатезиса олефинов.</p> <p>Гетерогенный катализ в промышленном органическом синтезе. Катализ металлами, оксидами и полифункциональными катализаторами. Механизм реакций гидрирования, окисления, окислительного аммонолиза, синтезов из CO и H₂. Влияние процессов массообмена на кинетику гетерогенно-каталитических реакций. Кинетика в условиях кинетической, внешне- и внутренидиффузионных областей. Гетерофазные процессы. Особенности кинетики в случае медленных и мгновенных химических реакций с учетом влияния диффузии.</p> <p>Теоретические основы построения кинетических моделей сложных многомаршрутных реакций органического синтеза. Теория маршрутов. Методы анализа кинетических данных и математического описания состава продуктов и селективности для сложных реакций: последовательных, параллельных, последовательно-параллельных.</p>
P5	Химические реакторы для процессов органического синтеза	<p>Идеальные реакторы. Основные модели реальных реакторов. Экспериментальное определение структуры потоков и набор моделей химического реактора. Классификация химических реакторов. Особенности использования кинетических моделей химического процесса при построении математических моделей реактора. Принципы расчета размеров реакторов, состава продуктов и селективности по кинетическим данным с учетом модели реактора и уравнений теплового баланса.</p> <p>Выбор типов реакторов с учетом их производительности, селективности реакций, тепловых и кинетических характеристик процесса. Принципы оптимизации параметров процесса по термодинамическим и кинетическим данным, использование экономических критериев оптимальности. Характеристика конструкций, материальных потоков, теплового режима и выбор варианта технологического оформления реакционного узла для основных гомогенных, гетерогенно-каталитических и гетерофазных процессов промышленного органического синтеза. Применение реакторов с псевдооживленным слоем контакта, секционированных</p>

		аппаратов, оптимизация потоков в реакторах. Вопросы утилизации тепла реакций и горячих потоков, энергетический и эксергетический КПД реакторных установок. Реакторы с совмещением химического и разделительного процессов.
Р6	Теоретические основы и практика использования разделительных и реакционно-массообменных процессов в промышленности органического синтеза	<p>Научные основы типовых методов очистки сырья от вредных примесей и его осушки. Особенности схем подготовки сырья на примере процессов хлорирования, окисления, гидрирования и др.</p> <p>Научные основы разделения реальных многокомпонентных смесей методами ректификации, экстракции, экстрактивной и азеотропной ректификации, жидкостной экстракции, абсорбции, адсорбции, хемосорбции и др. Принцип перераспределения полей концентраций между областями разделения. Вопросы выбора экстрагентов, экстрактивных и азеотропных агентов, сорбентов: характеристика их разделяющей способности. Основы статистики разделительных процессов. Синтез и анализ технологических схем разделения. Разделение полиазеотропных многокомпонентных гомогенных и расслаивающихся смесей. Кинетика тепло- и массопереноса, моделирование разделительной аппаратуры, методы расчета.</p> <p>Сравнительная оценка и выбор методов разделения многокомпонентных смесей, технологических схем разделения и аппаратуры для них. Оптимизация процессов разделения и технологических схем. Понятие разделительного комплекса функционального действия. Типовые комплексы и схемы переработки и разделения продуктов основного органического синтеза.</p> <p>Сопоставление совмещенных и рециркуляционных вариантов оформления реакционно-массообменных процессов. Общая стратегия исследования и разработки реакционно-массообменных процессов. Оценка влияния разделения на степень конверсии и селективность химического превращения. Применение анализа статистики для выделения оптимальных вариантов организации реакционно-ректификационных процессов.</p> <p>Методы очистки сточных вод, отходящих газов в промышленности органического синтеза.</p>
Р7	Применение ЭВМ при создании, проектировании и управлении производством	<p>Математическое описание процессов химического превращения, кинетических моделей. Математические модели химических реакторов. Расчет их параметров с помощью ЭВМ.</p> <p>Математическое моделирование фазовых равновесий жидкость-пар, жидкость-жидкость, жидкость- жидкость-пар, в том числе с химической реакцией.</p> <p>Моделирование с помощью ЭВМ различных массообменных аппаратов, технологических комплексов. Основы моделирования совмещенных реакционно-ректификационных процессов и аппаратов для их осуществления.</p> <p>Роль ЭВМ в автоматизации исследований и проектировании технологических установок, а также в управлении ими.</p>
Р8	Перспективы развития промышленности органического синтеза	<p>Основные концепции развития промышленности органического синтеза. Пути экономии материальных, энергетических и людских ресурсов, снижение капитальных затрат. Решение задач по охране окружающей среды и технике безопасности. Различные способы совмещения, позволяющие решить эти вопросы. Широкое использование принципов создания безотходных технологий при разработке промышленных процессов органического синтеза. Совмещение различных реакций с массообменными процес-</p>

		<p>сами, совмещение нескольких реакций, нескольких массообменных процессов и в целях проведения их в одном аппарате. Физико-химические основы и технологические принципы создания направленно-совмещенных реакционно-ректификационных процессов. Способы их организации и оптимизации. Вопросы системного подхода при разработке, проектировании и анализе производств основного органического синтеза. Историческое развитие, современное состояние и перспективы расширения сырьевой базы органического синтеза. Пути совершенствования производств олефинов, ароматических углеводородов, ацетилена, оксида углерода и др.</p> <p>Историческое развитие, современное состояние, перспективы и пути совершенствования основных процессов органического синтеза на базе исследования общесистемных закономерностей и методы повышения их экономической эффективности. Повышение надежности, устойчивости к внешним воздействиям технологических установок и отдельных аппаратов, меры снижения технологических единиц за счет совмещения процессов и стадий, внедрение аппаратуры, технологических линий большой единичной мощности, разработка основ материало- и энергосберегающих технологий.</p> <p>Вопросы разработки и применения автоматизированных систем научных исследований и проектирования производств.</p>
--	--	---

3. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ, САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

3.1. Практические занятия

Не предусмотрено.

3.2. Примерная тематика самостоятельной работы

3.2.1. Примерный перечень тем рефератов

Тематика рефератов должна рассматривать аналитический обзор научно-технической и патентной литературы по проблеме, решаемой аспирантом при работе над кандидатской диссертацией.

1. Физикохимия синтеза, технологии производства, состав, свойства и применение гетероциклических соединений.

2. Физикохимия синтеза, технологии производства, состав, свойства и применение биологически активных соединений.

3. Физикохимия синтеза, технологии производства, состав, свойства и применение фото активных соединений.

Объем реферата 20-25 страниц машинописного текста формата А-4.

3.2.2. Примерная тематика *индивидуальных* или *групповых* проектов

Не предусмотрено.

4. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (Приложение 1)

4.1. Критерии оценивания результатов контрольно-оценочных мероприятий текущей и промежуточной аттестации по дисциплине

Применяются утвержденные критерии оценивания достижений аспирантов по каждому контрольно-оценочному мероприятию. Система критериев оценивания опирается на три уровня освоения компонентов компетенций: пороговый, повышенный, высокий.

Компоненты	Признаки уровня освоения компонентов компетенций
------------	--

компетенций	пороговый	повышенный	высокий
Знания	Аспирант демонстрирует знание-знакомство, знание-копию: узнает объекты, явления и понятия, находит в них различия, проявляет знание источников получения информации, может осуществлять самостоятельно репродуктивные действия над знаниями путем самостоятельного воспроизведения и применения информации.	Аспирант демонстрирует аналитические знания: уверенно воспроизводит и понимает полученные знания, относит их к той или иной классификационной группе, самостоятельно систематизирует их, устанавливает взаимосвязи между ними, продуктивно применяет в знакомых ситуациях.	Аспирант может самостоятельно извлекать новые знания из окружающего мира, творчески их использовать для принятия решений в новых и нестандартных ситуациях.
Умения	Аспирант умеет корректно выполнять предписанные действия по инструкции, алгоритму в известной ситуации, самостоятельно выполняет действия по решению типовых задач, требующих выбора из числа известных методов, в предсказуемо изменяющейся ситуации	Аспирант умеет самостоятельно выполнять действия (приемы, операции) по решению нестандартных задач, требующих выбора на основе комбинации известных методов, в непредсказуемо изменяющейся ситуации	Аспирант умеет самостоятельно выполнять действия, связанные с решением исследовательских задач, демонстрирует творческое использование умений (технологий)
Личностные качества	Аспирант имеет низкую мотивацию учебной деятельности, проявляет безразличное, безответственное отношение к учебе, порученному делу	Аспирант имеет выраженную мотивацию учебной деятельности, демонстрирует позитивное отношение к обучению и будущей трудовой деятельности, проявляет активность.	Аспирант имеет развитую мотивацию учебной и трудовой деятельности, проявляет настойчивость и увлеченность, трудолюбие, самостоятельность, творческий подход.

4.2. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестации

Примерный перечень контрольных вопросов для подготовки к аттестации (проверяемые компетенции ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-6, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5):

1. Классификация реагентов. Нуклеофильные, электрофильные и радикальные реагенты. Их особенности и основные типы.
2. Классификация реакций. Классификация по химическому характеру (реакции замещения, присоединения, отщепления, молекулярные перегруппировки) и по характеру изменения связей.
3. Реакции замещения. Общая характеристика. Особенности ароматических соединений. Правило Хюккеля. Ароматические карбокатионы и карбоанионы. Гетероциклические соединения.
4. Электрофильное замещение; π - и σ -комплексы. Механизм и кинетика реакций электрофильного замещения.
5. Ориентация при электрофильном замещении. Влияние заместителей на распределение электронной плотности в основном и переходном состояниях. Относительная константа скорости. Пространственное влияние заместителей.
6. Нуклеофильное замещение. Особенности нуклеофильного замещения у ненасыщенного и насыщенного атомов углерода. Особенности реакций нуклеофильного замещения в ароматических

соединениях. Механизм реакций: мономолекулярный, бимолекулярный (присоединение-отщепление), ариновый, ион-радикальный.

7. Радикальное замещение. Механизм реакции. Влияние различных факторов. Соотношение изомеров. Образование и устойчивость радикалов. Радикальные реакции, протекающие по цепным механизмам.

8. Реакции присоединения. Общая характеристика. Реакции нуклеофильного, электрофильного и радикального присоединения. Правило Марковникова и эффект Караша.

9. Реакции отщепления (элиминирования). Общая характеристика. Бимолекулярное и мономолекулярное отщепление.

10. Галогенирование. Прямое галогенирование, основные методы и их сравнительная оценка. Использование галогенводородов, механизм и региоспецифичность реакции.

11. Применение серо- и фосфорорганических галоидных соединений. Замена атома галогена на другие атомы и группы. Замена на гидроксильную группу, цианогруппу и др.

12. Сульфирование. Введение сульфогруппы в алифатические и ароматические соединения. Сульфохлорирование. Сульфамиды, их получение и свойства. Сульфаниламидные препараты. Замена сульфогруппы на другие атомы и группы.

13. Нитрование. Введение нитрогруппы в алифатические и ароматические соединения. Реагенты, условия проведения реакции. Превращения нитрогруппы. Примеры использования реакции нитрования в синтезе биологически активных соединений.

14. Диазотирование. Механизм реакции и условия проведения. Свойства диазосоединений, их анализ. Реакции азосочетания. Использование реакций азосочетания. Превращения диазогруппы.

15. Окисление. Общие закономерности. Реакции окисления по атому углерода. Окисление метильных и метиленовых групп до первичных и вторичных спиртов, альдегидов и кетонов, карбоновых кислот. Наиболее распространенные реагенты, условия проведения реакций.

16. Восстановление. Типы реакций восстановления. Гидрирование. Катализаторы, их получение и свойства. Гидрогенолиз. Образование новых связей при гидрировании.

17. Использование защитных групп в тонком органическом синтезе и химии биологически активных соединений.

18. Основные направления развития органического синтеза (ОС) как отрасли. Специфика и системные закономерности этой отрасли. Экологическая характеристика отрасли и ее отдельных производств. Методологические принципы. Роль системного подхода в создании безотходных производств.

19. Химические принципы. Создание малостадийных химических производств. Разработка методов получения продуктов из доступного и дешевого сырья. Разработка высокоэффективных процессов.

20. Радикально-цепные процессы в промышленном органическом синтезе. Механизм, инициаторы, катализаторы, ингибиторы. Кинетические модели реакций хлорирования, окисления, пиролиза и полимеризации.

21. Металлокомплексный катализ в промышленном органическом синтезе. Строение комплексов металлов. Природа и механизм основных стадий каталитических реакций с участием металлокомплексов.

22. Химические реакторы для процессов органического синтеза. Идеальные реакторы. Основные модели реальных реакторов. Экспериментальное определение структуры потоков и набор моделей химического реактора. Классификация химических реакторов

4.2.1. Перечень примерных вопросов для зачета

Не предусмотрено.

4.2.2. Перечень примерных вопросов для экзамена

1. Определение понятия «механизм реакции». Факторы, от которых зависит осуществление элементарного акта между реагирующими частицами: электронные (возникновение реакционных центров) и пространственные (доступность реакционных центров).

2. Электрофильное замещение; π - и σ -комплексы. Механизм и кинетика реакций электрофильного замещения. Электронное и пространственное влияние заместителей.

3. Классификация реагентов. Нуклеофильные, электрофильные и радикальные реагенты. Их особенности и основные типы.
4. Классификация реакций. Классификация по химическому характеру (реакции замещения, присоединения, отщепления, молекулярные перегруппировки) и по характеру изменения связей
5. Реакции присоединения и отщепления. Общая характеристика. Реакции нуклеофильного, электрофильного и радикального присоединения. Реакции отщепления (элиминирования). Общая характеристика. Бимолекулярное и мономолекулярное отщепление.
6. Реакции окисления и каталитического дегидрирования. Окисление кратных связей углерод-углерод. Реагенты для окисления двойных и тройных связей. Расщепление гликолей. Окислительное расщепление вторичных спиртов и кетонов.
7. Гетеролитические и гомолитические механизмы. Нуклеофильные и электрофильные реакции замещения, присоединения и отщепления в органическом синтезе. Кинетика и механизм этих реакций. Влияние среды. Кислотный и основной катализ в гетеролитических реакциях
8. Ацилирование. Реакция Фриделя-Крафтса, условия проведения. Примеры использования в химии биологически активных соединений. Формилирование ароматических соединений.
9. Карбоновые кислоты и их производные. Методы синтеза кислот: окисление первичных спиртов и альдегидов, алкенов, алкинов, алкилбензолов, гидролиз нитрилов и других производных карбоновых кислот, синтез на основе металлоорганических соединений, синтеза на основе малонового эфира.
10. Реакции карбоновых кислот: галогенирование по Гелю-Фольгардту-Зелинскому, пиролизная кетонизация, электролиз по Кольбе, декарбоксилирование по Хундиккеру. Методы получения производных карбоновых кислот: галогенангидридов, ангидридов, сложных эфиров, нитрилов, амидов. Кетены, их получение и свойства.
11. Введение нитрогруппы в алифатические и ароматические соединения. Реагенты, условия проведения реакции. Превращения нитрогруппы. Примеры использования реакции нитрования в синтезе биологически активных соединений. Нитрование. Нитрующие агенты. Механизм реакции нитрования. Нитрование бензола и его замещенных.
12. Методы получения альдегидов и кетонов: из спиртов, производных карбоновых кислот, алкенов (озонолиз), алкинов (гидроборирование), на основе металлоорганических соединений. Ацилирование и формилирование аренов.
13. Нуклеофильное замещение. Особенности нуклеофильного замещения у ненасыщенного и насыщенного атома углерода.
14. Особенности реакций нуклеофильного замещения в ароматических соединениях. Механизм реакций мономолекулярный, бимолекулярный (присоединение–отщепление), ариновый, ион-радикальный.
15. Введение сульфогруппы в алифатические и ароматические соединения. Сульфохлорирование. Сульфонамиды, их получение и свойства. Сульфаниламидные препараты. Замена сульфогруппы на другие атомы и группы.
16. Реакция Фриделя-Крафтса, условия проведения. Примеры использования в химии биологически активных соединений. Формилирование ароматических соединений. Реакция Вильсмейера. Условия проведения, реагенты.
17. Методы получения аминов: алкилирование аммиака и аминов по Гофману, фталимида калия (Габриэль), восстановление азотсодержащих производных карбонильных соединений и карбоновых кислот, нитросоединений, алкилазидов. Перегруппировки Гофмана и Курциуса. Синтез аминов с третичным алкильным радикалом (Риттер), взаимодействие альдегидов и кетонов с формиатом аммония (Лейкарт). Реакции аминов. Алкилирование и ацилирование.
18. Нитрозирование и диазотирование. Реагенты и условия проведения реакции. Применение реакции нитрозирования, синтез пирамидона и анальгина. Нитрозирование по атому азота. Диазометан и диазопарафины. Реакции азосочетания. Использование реакций азосочетания. Превращения диазогруппы. Реакция Зандмейера. Замена диазогруппы на другие заместители.
19. Перегруппировки. Классификация перегруппировок. Реакции, протекающие при образовании заряда, не сопряженного с кратными связями. Миграция углеродного остатка от атома углерода к другому атому углерода. Нуклеофильные и электрофильные перегруппировки.

20. Реакции элементоорганических соединений (ЭОС). Классификация ЭОС. Методы синтеза и свойства. Особенности магний-, цинк-, кадмий-, алюминий-, литийорганических соединений.
21. Катализаторы, теория катализа, классификация катализаторов. Гомогенный и гетерогенный катализ.
22. Использование защитных групп в тонком органическом синтезе и химии биологически активных соединений. Защиты С-Н-связей в ацетиленовых и ароматических соединениях. Защита N-H связей. Образование новой N-C-связи. Производные уретанового синтеза. Алкильные и арильные производные. Силильные защиты. Защиты гидроксильной группы. Защиты карбоксильной группы.
23. Использование новых реагентов в тонком органическом синтезе. Реагенты на полимерных носителях, их применение и преимущества. Межфазный катализ с использованием гетерофазных реагентов. Краун-эфиры. Примеры использования новых реагентов в химии природных соединений.
24. Масс-спектрометрия. Методы ионизации и разделения ионов по массам. Характеристики спектра. Использование для доказательства строения органических соединений.
25. Спектроскопия ЯМР на ядрах ^1H . Принцип метода, Характеристики спектра.
26. Спектроскопия ЯМР на ядрах ^{19}F , ^{31}P , ^{14}N , ^{15}N , ^{11}B . Принцип метода, Характеристики спектра сравнение с резонансом на ядрах ^1H .
27. Спектроскопия ЯМР на ядрах ^{13}C Принцип метода, Характеристики спектра сравнение с резонансом на ядрах ^1H .
25. ИК-спектроскопия. Использование в органическом синтезе.
26. Электронная спектроскопия. Использование в органическом синтезе.
27. Научные основы типовых методов очистки сырья от вредных примесей и его осушки. Особенности схем подготовки сырья на примере процессов хлорирования, окисления, гидрирования.
28. Основные направления развития органического синтеза (ОС) как отрасли. Специфика и системные закономерности этой отрасли. Экологическая характеристика отрасли и ее отдельных производств.
29. Вопросы системного подхода при разработке, проектировании и анализе производств основного органического синтеза. Историческое развитие, современное состояние и перспективы расширения сырьевой базы органического синтеза. Пути совершенствования производств олефинов, ароматических углеводородов, ацетилена, оксида углерода и др.
30. Историческое развитие, современное состояние, перспективы
- Основные направления развития органического синтеза (ОС) как отрасли. Специфика и системные закономерности этой отрасли. Экологическая характеристика отрасли и ее отдельных производств.
31. Методы очистки сточных вод, отходящих газов в промышленности органического синтеза.
32. Сравнительная оценка и выбор методов разделения многокомпонентных смесей, технологических схем разделения и аппаратуры для них. Оптимизация процессов разделения и технологических схем. Понятие разделительного комплекса функционального действия. Типовые комплексы и схемы переработки и разделения продуктов основного органического синтеза.
33. Сопоставление совмещенных и рециркуляционных вариантов оформления реакционно-массообменных процессов. Общая стратегия исследования и разработки реакционно-массообменных процессов.
34. Химические реакторы для процессов органического синтеза.
- Математическое описание процессов химического превращения, кинетических моделей. Математические модели химических реакторов. Расчет их параметров с помощью ЭВМ.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Рекомендуемая литература

5.1.1. Основная литература

1. В. Смит. Основы современного органического синтеза: Учебное пособие. М.:

- БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. 750 с.
2. Э. Преч, Ф. Бюльманн, К. Аффольтер. Определение строения органических соединений. М.: Мир, 2009. 440 с.
 3. Л. Титце, Т. Айхер. Препаративная органическая химия. Реакции и синтезы в практикуме органической химии и научно-исследовательской лаборатории. М.: Мир, 2009. 566 с.
 4. Ю. А. Пентин, Л. В. Вилко. Физические методы исследования в химии. М.: Мир, 2009. 688 с.
 5. И. И. Грандберг, Н. Л. Нам. Органическая химия. М.: Юрайт, 2012. 608 с.
 6. И. И. Грандберг, Н. Л. Нам. Практические работы и семинарские занятия по органической химии. М.: Юрайт, 2012. 352 с.
 7. О. А. Реутов, А. Л. Курц, К. П. Бутин. Органическая химия. В 4 частях. Часть 1. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. 568 с.
 8. О. А. Реутов, А. Л. Курц, К. П. Бутин. Органическая химия. В 4 частях. Часть 2. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. 624 с.
 9. О. А. Реутов, А. Л. Курц, К. П. Бутин. Органическая химия. В 4 частях. Часть 3. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. 544 с.
 10. О. А. Реутов, А. Л. Курц, К. П. Бутин. Органическая химия. В 4 частях. Часть 4. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. 728 с.
 11. И. В. Боровлев. Органическая химия. Термины и основные реакции. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. 360 с.
 12. T. W. G. Solomons, C. Fryhle. Organic Chemistry, 9th Edition. WILEY VCH, 2011. 1280 p.
 13. S. Warren, P. Wyatt. Organic Synthesis: The Disconnection Approach, 2nd Edition. WILEY VCH Verlag GmbH, 2009. 344 p.
 14. D. W. Mayo, R. M. Pike, D. C. Forbes. Microscale Organic Laboratory: with Multistep and Multiscale Syntheses, 5th Edition. WILEY VCH Verlag GmbH, 2012. 704 p.
 15. D. R. Klein. Organic Chemistry I As a Second Language: First Semester Topics, 3rd Edition. WILEY VCH Verlag GmbH, 2012. 400 p.
 16. E. J. Billo. Excel for Chemists: A Comprehensive Guide, with CD-ROM, 3rd Edition. WILEY VCH Verlag GmbH, 2011. 760 p.
 17. H. Strathmann. Introduction to Membrane Science and Technology. WILEY VCH Verlag GmbH, 2011. 544 p.
 18. D. R. Klein. Organic Chemistry, 1st Edition. WILEY VCH Verlag GmbH, 2012. 1360 p.
 19. Lancaster, M. Green Chemistry. An Introductory Text, 2nd Ed.; The Royal Society of Chemistry: Chembrige, 2010; 328 p.
 20. Cross Coupling and Heck-Type Reactions 03: Metal-Catalyzed Heck-Type Reactions and C-C Cross Coupling via C-H Activation; Larhed, M., Ed.; Thieme Medical Publishers: Stuttgart, 2013; 892 p.
 21. Terrier, F. Modern Nucleophilic Aromatic Substitution; Wiley-VCH: Weinheim, 2013; 488 p;
 22. Charushin, V.; Chupakhin, O. Metal Free C-H Functionalization of Aromatics Nucleophilic Displacement of Hydrogen. In Topics in Heterocyclic Chemistry; Maes, B. U. W.; Cossy, J; Polanc, S., Eds.; Springer: Switzerland, 2014; Vol. 37, 283 p.
 23. Ингольд К. Теоретические основы органической химии. М.: Мир, 1973.
 24. Марч Дж. Органическая химия, Т. 1-4. М.: Мир, 1987.
 25. Реутов О.А., Курц А.Л., Бутин К.П. Органическая химия. Ч. 1-4. М.: Изд-во МГУ, 1999.
 26. Кери Ф., Сандберг Р. Углубленный курс органической химии. Кн. 1, 2. М.: Химия, 1981.
 27. Сайкс П. Механизмы реакций в органической химии. Вводный курс. М.: Химия, 2000.
 28. Джилкрист Т.Л. Химия гетероциклических соединений. М.: Мир, 1996.
 29. Минкин В.И., Симкин Б.Я., Миняев Р.М. Теория строения молекул. Ростов-на-

Дону: Феникс, 1997.

30. Потапов В.М. Стереохимия. М.: Химия, 1988.
31. Титце Л., Айхер Т. Препаративная органическая химия. Реакции и синтезы в практикуме органической химии и научно-исследовательской лаборатории. М.: Мир, 1999.
32. Органикум: Практикум по органической химии / Г. Беккер, В. Бергер и др. Т. 1, 2. М.: Мир, 1992.

5.2. Методические разработки

1. Основы теоретических представлений в органической химии. Кожевников Д.Н., Русинов В.Л., Чупахин О.Н., Уломский Е.Н. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2001. 36 с.
2. Интерактивное методическое пособие «Определение строения органических соединений с использованием методов ЯМР спектроскопии», опубликованное на сайте ХТФ УГТУ-УПИ (<http://www.htf.ustu.ru/method/NMR-test>).
3. Носова Э.В. Органическая химия веществ природного происхождения (учебное пособие). Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2008. 259 с.
4. Понизовский М.Г., Русинова Л.И. Органическая химия. Часть 1. Углеводороды (учебное пособие). Екатеринбург: УрФУ, 2010. 172 с.
5. Понизовский М.Г., Русинова Л.И., Носова Э.В., Русинов В.Л. Химия гетероциклических соединений (учебно-методический комплекс) (элект.)/
http://study.ustu.ru/umk/umk_view.asp?id=8041. 2009. 1173 с.
6. Понизовский М.Г., Русинова Л.И. Органическая химия. Часть 2. Функциональные производные углеводородов (учебное пособие). Екатеринбург: УрФУ, 2010. 180 с.
7. Носова Э.В. Методы установления механизмов органических реакций (учебное пособие). Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2010. 114 с.
8. Хроматографические методы анализа: методические указания к лабораторному практикуму. И.С. Ковалев. Екатеринбург: УрФУ, 2010. 29 с.
9. Электронная абсорбционная и люминесцентная спектроскопия. Теория и практика: учебно-методическая разработка. Д.Н. Кожевников, А.М. Прохоров. Екатеринбург: УрФУ, 2010. 41 с.
10. Бельская Н.П., Ельцов О.С., Понизовский М.Г. Ядерный магнитный резонанс. Теория и практика (часть 1). Издательство УрФУ. 2012. 105с.

5.3. Программное обеспечение

1. Microsoft office (Word, Excel, Power point);
2. Adobe Reader.

5.4. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>;
2. Web of Science: <http://apps.webofknowledge.com>;
3. Scopus: <http://www.scopus.com>;
4. Reaxys: <http://reaxys.com>;
5. Поисковая система EBSCO Discovery Service <http://lib.urfu.ru/course/view.php?id=141>;
6. Федеральный институт промышленной собственности <http://www1.fips.ru>;
7. Интеллектуальная поисковая система Нигма.РФ . режим доступа: <http://www.nigma.ru>.

5.5. Электронные образовательные ресурсы

1. Зональная научная библиотека <http://lib.urfu.ru>;
2. Каталоги библиотеки <http://lib.urfu.ru/course/view.php?id=76>;
3. Электронный каталог <http://opac.urfu.ru>;
4. Электронно-библиотечные системы <http://lib.urfu.ru/mod/resource/view.php?id=2330>;
5. Электронные ресурсы свободного доступа <http://lib.urfu.ru/course/view.php?id=75>;
6. Электронные ресурсы по подписке <http://lib.urfu.ru/mod/data/view.php?id=1379>.

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием

Уральский федеральный университет имеет специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы и помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования.