

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем химико-энергетических технологий
Сибирского отделения Российской академии наук

УТВЕРЖДАЮ
Директор 
С.В. Сысолятин
« 11 » января 2024 г.

**ПРОГРАММА КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА
по специальной дисциплине
1.4.3 Органическая химия**

Программа кандидатского экзамена рассмотрена и одобрена на заседании Ученого совета ИПХЭТ СО РАН, протокол от 29.12.2023 № 11.

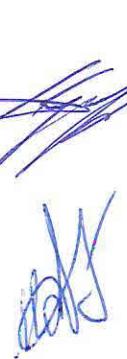
Составитель:

Старший научный сотрудник
лаборатории медицинской химии,
канд. хим. наук

 Д.А. Кулагина

Согласовано:

Зам. директора по научной работе,
канд. хим. наук

 В.В. Малыхин

Заведующая отделом аспирантуры

 Н.В. Волкова

Введение

Настоящая программа кандидатского экзамена разработана для научной специальности 1.4.3 Органическая химия в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (уровень высшего образования – подготовка кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 04.06.01 Химические науки, утвержденным приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 30.07.2014 № 869.

Кандидатский экзамен представляет собой форму оценки степени подготовленности соискателя ученой степени кандидата наук к проведению научных исследований по конкретной научной специальности и отрасли науки, по которой подготавливается или подготовлена диссертация.

Соискатель ученой степени кандидата наук должен показать высокий уровень теоретической и профессиональной подготовки, знание общих концепций и методологических вопросов научной специальности, глубокое понимание основных разделов теории и практики изученного материала, а также умение применять свои знания для решения исследовательских и прикладных задач.

Процедура проведения кандидатского экзамена

Кандидатский экзамен проводятся в устной форме (собеседование) на открытом заседании экзаменационной комиссии. Соискателю ученой степени кандидата наук задаются 2–3 вопроса в соответствии с программой кандидатского экзамена. Время для подготовки – 45 минут.

Экзаменаторы имеют право задавать соискателю ученой степени кандидата наук уточняющие вопросы в рамках программы кандидатского экзамена.

Во время кандидатского экзамена соискатель ученой степени кандидата наук может пользоваться справочными пособиями и материалами. В случае использования соискателем ученой степени кандидата наук учебной или научной литературы и других средств без разрешения экзаменационной комиссии экзаменаторы вправе удалить соискателя ученой степени кандидата наук с экзамена с выставлением неудовлетворительной оценки.

Оценка уровня знаний соискателя ученой степени кандидата наук определяется экзаменационными комиссиями по четырехбалльной системе. Общими критериями, определяющими оценку знаний, являются

- для оценки «отлично» – наличие глубоких и исчерпывающих знаний в объеме программы кандидатского экзамена, правильные и уверенные действия по применению полученных знаний на практике, грамотное и логически стройное изложение материала при ответе, знание дополнительно рекомендованной литературы;

- для оценки «хорошо» – наличие твердых и достаточно полных знаний в объеме программы кандидатского экзамена, незначительные ошибки при освещении заданных вопросов, правильные действия по применению знаний на практике, четкое изложение материала;

- для оценки «удовлетворительно» – наличие твердых знаний в объеме программы кандидатского экзамена, изложение ответов с ошибками, уверенно исправляемыми после дополнительных вопросов, необходимость наводящих вопросов, правильные действия по применению знаний на практике;

- для оценки «неудовлетворительно» – наличие грубых ошибок в ответе, непонимание сущности излагаемого вопроса, неуверенность и неточность ответов на дополнительные и наводящие вопросы, неумение применять знания на практике.

Оценка за кандидатский экзамен выставляется решением экзаменационной комиссии по результатам обсуждения на закрытом заседании. При расхождении мнения членов

комиссии преимущество имеет председатель комиссии (в его отсутствии – заместитель председателя).

Оценка объявляется соискателю ученой степени кандидата наук после заседания экзаменационной комиссии в день проведения кандидатского экзамена.

Перечень вопросов к кандидатскому экзамену

Химическая связь и строение органических соединений

1. Электронные представления о природе связей. Типы связей в органической химии. Гибридизация атомов углерода и азота. Электронные эффекты. Электроотрицательность атомов и групп. Основные положения квантовой химии. Атомные и молекулярные орбитали. Приближение МО-ЛКАО. Метод МО Хюккеля и более строгие квантово-химические методы расчета.

2. Понятие о полуэмпирических методах, основанных на приближении Хартри – Фока (MNDO, AM1, PM3 и др.). Методы *ab initio*. Метод функционала плотности (DFT). Компромиссные подходы (локализованные связи, гибридизация, частичный учет делокализации электронов). Теория возмущений МО. Возмущения первого и второго порядков. Индексы реакционной способности. Метод граничных орбиталей. Зарядовый и орбитальный контроль органических реакций.

3. Понятие о резонансе (сопряжении) в классической и квантовой химии. Сопряжение в методе МО Хюккеля. Концепция ароматичности. Правило Хюккеля. Мезоионные соединения. Антиароматичность. Понятие о конформации молекулы. Факторы, определяющие энергию конформеров. Влияние эффектов сопряжения на стабильность конформеров. Номенклатура конформеров. Угловое напряжение и другие типы напряжения в циклических системах. Средние циклы и трансаннулярные взаимодействия. Инверсия циклов и азотсодержащих соединений.

4. Связь конформации и реакционной способности. Принцип Кертина – Гамметта. Стерический и стереоэлектронный контроль реакций. Стереоселективность и стереоспецифичность. Пространственное строение этиленовых и диеновых систем. Номенклатура геометрических изомеров. Конформация диенов и триенов. Атропоизомерия. Энантиомерия. Асимметрия и хиральность. Эквивалентные, энантиотопные и диастереотопные группы. Номенклатура оптических антиподов. Неуглеродные атомы как центры хиральности.

5. Способы получения и разделения энантиомеров. Оптическая чистота и методы ее определения. Определение абсолютной и относительной конфигурации. Понятие о дисперсии оптического вращения и круговом дихроизме.

Общие принципы реакционной способности

6. Классификация реакций по типу образования и разрыва связей в лимитирующей стадии, по типу реагента и по соотношению числа молекул реагентов и продуктов.

7. Теория переходного состояния. Гиперповерхность потенциальной энергии, координата и энергетический профиль реакции. Термодинамические параметры активации. Кинетические уравнения основных типов реакций. Методы экспериментального изучения кинетики и механизмов реакций. Метод стационарного состояния (принцип Боденштейна). Постулат Хэммонда.

8. Эмпирический (экстратермодинамический) подход к реакционной способности. Корреляционные уравнения, принцип линейности свободных энергий Гиббса. Уравнения Гаммета и Тафта. Связь параметров корреляционных уравнений с механизмом реакций.

9. Количественная теория кислот и оснований. Кислоты Бренстеда и Льюиса. Кислотно-основное равновесие. Понятие *pH*. Кинетическая и термодинамическая кислотность. Уравнение Бренстеда. Общий и специфический кислотно-основный катализ. Суперкислоты. Функции кислотности. Постулат Гаммета.

10. Влияние среды на скорости и равновесие органических реакций. Специфическая и неспецифическая (универсальная) сольвация. Клеточный эффект. Водородная связь. Классификация и шкалы параметров растворителей. Влияние сольвации на скорость и равновесие органических реакций. Уравнения Уинстейна и Грюнвальда, Коппеля-Пальма. Кислотность и основность в газовой фазе.

11. Карбениевые ионы (карбокатионы). Генерация карбокатионов в растворах и в газовой фазе. Влияние структурных и сольватационных факторов на стабильность карбокатионов. Строение карбокатионов.

Основные типы реакций карбокатионов и области их синтетического использования. Скелетные перегруппировки и гидридные сдвиги в карбокатионах.

12. Карбанионы и CN -кислоты. Влияние структурных и эффектов среды на стабилизацию карбанионов. Основные реакции карбанионов, анионные перегруппировки. Амбидентные и полидентные анионы. Карбены. Электронная структура, синглетное и триплетное состояние карбенов. Методы генерации карбенов и использование их в органическом синтезе. Нитрены, их генерация, строение и свойства.

13. Свободные радикалы и ион-радикалы. Методы генерирования радикалов. Электронное строение и факторы стабилизации свободных радикалов. Типы стабильных свободных радикалов. Основы методов ЭПР и ХПЯ. Катион- и анион-радикалы. Методы генерирования и свойства. Основные реакции ион-радикалов. Комплексы с переносом заряда.

Основные типы органических реакций и их механизмы

14. Нуклеофильное замещение в алифатическом ряду. Механизмы $SN1$ и $SN2$, смешанный ионно-парный механизм. Влияние структуры субстрата и полярности растворителя на скорости и механизм реакции. Анхимерное содействие и синартетическое ускорение, участие соседних групп, перегруппировки в ходе нуклеофильного замещения. Корреляционные уравнения Суэйна – Скотта и Эдвардса.

15. Нуклеофильное замещение при кратной углерод-углеродной связи и в ароматическом ядре. Типичные механизмы нуклеофильного замещения у sp^2 -гибридного атома углерода. Винильный катион. Моно- и бимолекулярные процессы нуклеофильного замещения в ароматическом ряду. Катализ переходными металлами. Нуклеофильное замещение в нитропроизводных бензола. Нуклеофильное замещение водорода (викариозное замещение). Комплексы Мейзенхаймера. Нуклеофильное замещение в ароматических гетероциклах. Кине-замещение.

16. Электрофильное замещение у атома углерода. Механизмы замещения $SE1$, $SE2$, SEi . Нуклеофильный катализ электрофильного замещения. Влияние структуры субстрата и эффектов среды на скорость и направление реакций. Замещение у олефинового атома углерода и в ароматическом кольце. Генерирование электрофильных реагентов. Правила ориентации и их молекулярно-орбитальная интерпретация. Электрофильное замещение других групп, кроме водорода. Ипсо-замещение. Кинетические изотопные эффекты.

17. Реакции элиминирования (отщепления). Механизмы гетеролитического элиминирования $E1$ и $E2$. Стереоэлектронные требования и стереоспецифичность при $E2$ -элиминировании. Термическое син-элиминирование.

18. Нуклеофильное присоединение к карбонильной группе: присоединение оснований, включая карбанионы, металлоганических соединений. Реакция Анри. Кислотный и основной катализ присоединения. Енолизация альдегидов и кетонов. Механизм этерификации кислот и получение ацеталей. Конденсации карбонильных соединений, карбоновых кислот и их производных. Нуклеофильное присоединение к альд- и кетиминам и карбоний-иммониевым ионам (реакция Манниха).

19. Перегруппировки в карбокатионных интермедиатах. Классификация перегруппировок: пинаколиновая и ретропинаколиновая, перегруппировка Демьянова. Перегруппировка Вагнера – Мейервейна. Перегруппировки с миграцией к атому азота (Гофмана, Курциуса, Бекмана). Реакция Байера – Виллигера.

20. Радикальные и ион-радикальные реакции присоединения, замещения и элиминирования. Цепные радикальные реакции. Полимеризация, теломеризация, реакции автоокисления. Ингибиторы, инициаторы и промоторы цепных реакций. Редокс-реакции. Электросинтез органических соединений.

21. Молекулярные реакции (цис-транс-изомеризация, распад молекул, размыкание циклов). Коарктатные реакции. Согласованные реакции. Концепция сохранения орбитальной симметрии и правила Вудворда – Гофмана. Электроциклические реакции, сигматропные перегруппировки. Перициклические реакции (2+2) и (2+4)-циклоприсоединения. 1,3-диполярное циклоприсоединение.

22. Двойственная реакционная способность и тautомерия органических соединений. Прототропные и сигматропные перегруппировки. Правило Корнблюма. Кето-енольное равновесие. Нитросоединения и нитроновые кислоты, нитрозосоединения и оксимы. Металлотропия.

23. Основы фотохимии органических соединений. Синглетные и триплетные состояния, флуоресценция и фосфоресценция, интеркомбинационная конверсия. Основные типы фотохимических реакций. Явление фотохромизма.

Принципы современного органического синтеза и установления строения органических соединений

24. Выбор оптимального пути синтеза. Принцип ретросинтетического анализа. Линейные и конвергентные схемы синтеза. Синтоны и синтетические эквиваленты. Защита функциональных групп. Методы введения и удаления защитных групп. Основные пути построения углеродного скелета. Методы введения важнейших функциональных групп и пути перехода от одних функций к другим.

25. Элементоорганические соединения (производные фосфора, бора, кремния, меди, лития, магния, олова) в органическом синтезе. Металлокомплексный катализ.

26. Использование химических и физико-химических методов для установления структуры органических соединений. Спектроскопия ЯМР, ЭПР, колебательная и электронная спектроскопия, масс- и хромато-масс-спектрометрия. Газожидкостная и жидкостная хроматография, ионообменная и гельпроникающая хроматография, электрофорез. Рентгеноструктурный анализ и электронография. Рефрактометрия.

27. Особенности оборудования и методики проведения реакций в гетерофазных и гетерогенных системах. Современные методы обработки реакционных масс, очистки и выделения продуктов. Проведение реакций на твердых носителях. Принципы комбинаторной химии.

28. Техника безопасности и экологические проблемы органического синтеза. «Зеленая химия». Термохимия органических реакций. Тепловой взрыв.

Использование ЭВМ в органической химии и информатика

29. Основные представления о применении неэмпирических и полуэмпирических методов квантово-химических вычислений и расчетов методами молекулярной механики для определения электронного и пространственного строения, конформационного состава, теплот образования, энергий напряжения и активации химических реакций, колебательных и электронных спектров, реакционной способности органических соединений.

30. Понятие об эмпирических корреляциях структура-свойство (QSAR, QSPR). Спектроструктурные корреляции. Машинное планирование и поиск путей синтеза органических соединений. Метод расчленения, выбор трансформов, ретронов и синтонов, способов связывания синтонов друг с другом.

Алканы.

31. Методы синтеза. Реакции алканов: галогенирование, сульфохлорирование. Селективность радикальных реакций и относительная стабильность алкильных радикалов.

Термический и каталитический крекинг. Ионные реакции алканов в суперкислых средах (дейтероводородный обмен и галогенирование).

32. Конформационный анализ циклогексана, моно- и дизамещенных циклогексанов; аксиальные и экваториальные связи. Влияние конформационного положения функциональных групп на их реакционную способность в ряду производных циклогексана на примере реакций замещения, отщепления и окисления. Реакции расширения и сужения циклов.

Алкены.

33. Алкены. Методы синтеза Реакции алкенов: электрофильное присоединение галогенов, галогеноводородов, воды. Окисление алкенов до оксиранов (Прилежаев). Понятие об энантиомерном эпоксидировании алкенов по Шарплесу (в присутствии изопропилата титана и эфира L-(+)-винной кислоты). *Цис*-гидроксилирование алкенов по Вагнеру ($KMnO_4$) и Криге (OsO_4). Окисление алкенов галогеном в присутствии солей серебра: *цис*- (Вудворт) и *транс*- (Прево) гидроксилирование. Радикальные реакции алкенов. Гетерогенное гидрирование: катализаторы, каталитические яды. Гидрогенолиз связей углерод-гетероатом. Гомогенное гидрирование: катализаторы, механизм. Региоселективность гомогенного гидрирования. Присоединение синглетных и триплетных карбенов к алкенам. Карбеноиды, их взаимодействие с алкенами.

Алкины.

34. Алкины. Методы синтеза. Реакции алкинов. Галогенирование, гидрогалогенирование, гидратация (Кучеров). Ацетилен-алленовая изомеризация. Смещение тройной связи в терминальное положение. Окислительная конденсация терминальных алкинов в присутствии солей меди. Конденсация алкинов-1 с кетонами и альдегидами (Фаворский, Реппе).

Алкадиены

35. Алкадиены. Методы синтеза 1,3-диенов: дегидрирование алканов, синтез Фаворского – Реппе, кросс-сочетание на металлокомплексных катализаторах. Реакции 1,3-диенов: галогенирование и гидрогалогенирование, 1,2- и 1,4-присоединение. Реакция Дильса – Альдера с алкенами и алкинами, ее типы: карбо-реакция, гетеро-реакция.

Спирты и простые эфиры

36. Методы синтеза одноатомных спиртов. Реакции одноатомных спиртов: замещение гидроксильной группы в спиртах на галоген (под действием галогеноводородов, галогенидов фосфора и хлористого тионила). Реагенты регио- и стереоселективного замещения (комpleксы трифенилфосфина с галогенами и четыреххлористым углеродом). Дегидратация спиртов. Окисление первичных и вторичных спиртов. Реагенты окисления на основе соединений хрома (VI), диоксида марганца и диметилсульфоксида (методы Моффета и Сверна).

37. Методы синтеза и реакции двухатомных спиртов. Окислительное расщепление 1,2-диолов (иодная кислота, тетраацетат свинца). Пинаколиновая перегруппировка.

38. Методы синтеза простых эфиров. Реакции простых эфиров: образование оксониевых солей, расщепление кислотами.

Альдегиды и кетоны

39. Методы получения альдегидов и кетонов. Реакции альдегидов и кетонов: присоединение воды, спиртов, тиолов. Получение бисульфитных производных и циангидринов. Взаимодействие альдегидов и кетонов с азотистыми основаниями. Перегруппировка Бекмана. Взаимодействие альдегидов и кетонов с металлогорганическими соединениями. Енамины, их алкилирование и ацилирование. Альдольно-кротоновая конденсация альдегидов и кетонов как метод усложнения углеродного скелета. Бензоиновая конденсация. Конденсация с нитроалканами (Анри). Восстановление альдегидов и кетонов до спиртов, реагенты восстановления. Дезоксигенирование альдегидов и кетонов: реакции Клемменсена и Кижнера - Вольфа. Окисление альдегидов и кетонов.

Карбоновые кислоты и их производные

40. Методы синтеза карбоновых кислот. Реакции карбоновых кислот: галогенирование по Гелю-Фольгарду-Зелинскому, пиролитическая кетонизация, электролиз по Кольбе, декарбоксилирование по Хундиккеру.

41. Методы получения производных карбоновых кислот: галогенангидридов, ангидридов, сложных эфиров, нитрилов, амидов. Кетены, их получение и свойства. Реакции производных карбоновых кислот: взаимодействие с нуклеофильными реагентами (вода, спирты, аммиак, амины, металлоганические соединения). Восстановление галогенангидридов до альдегидов по Розенмунду и комплексными гидридами металлов. Взаимодействие галогенангидридов с диазометаном (реакция Арндта-Эйстерта). Восстановление сложных эфиров. Малоновая кислота: синтезы с малоновым эфиром, реакция Михаэля, конденсации с альдегидами (Кневенагель). Сложноэфирная и ацилоиновая конденсации. Особенности эфиров двухосновных кислот (образование карбоциклов) в этих реакциях. Ацетоуксусный эфир и его использование в синтезе.

Синтетическое использование реакций электрофильного замещения в ароматическом ряду

42. Реакции ароматического электрофильного замещения. Влияние заместителей в бензольном кольце на скорость и направление электрофильного замещения. Согласованная и несогласованная ориентация.

Нитросоединения и амины

43. Нитроалканы. Синтез из алкилгалогенидов. Кислотность и таутомерия нитроалканов. Конденсация с карбонильными соединениями (Анри). Восстановление в амины. Превращение вторичных нитроалканов в кетоны (Мак-Марри).

44. Методы получения аминов. Реакции аминов. Алкилирование и ацилирование. Термическое разложение гидроксидов тетраалкиламмония по Гофману. Окисление третичных аминов до N-оксидов, их термолиз (Коуп). Получение нитронов из N,N-диалкилгидроксиаминов. Реакции [3+2]-циклоприсоединения нитронов (образование пятичленных азотистых гетероциклов).

Методы синтеза и реакции ароматических гетероциклических соединений

45. Пятичленные гетероциклы с одним гетероатомом. Фуран, пиррол, тиофен. Синтез из 1,4-дикарбонильных соединений (Пааль – Кнорр). Синтез пирролов по Кнорру и по Ганчу. Синтез 3,4-дизамещенных тиофенов по Хинсбергу. Реакции электрофильного замещения в пятичленных ароматических гетероциклах: нитрование, сульфирование, галогенирование, формилирование, ацилирование. Индол. Синтез производных индола из фенилгидразина и кетонов (Фишер). Синтез индола и его производных из 2-ациламинотолуолов (Маделунг). Реакции электрофильного замещения в пиррольном кольце индола.

46. Шестичленные ароматические гетероциклы с одним гетероатомом. Пиридин и хинолин. Синтез производных пиридина по Ганчу. Синтез частично гидрированных производных пиридина путем [4+2]-циклоприсоединения (гетеро-реакция Дильса – Альдера). Синтез хинолина и замещенных хинолинов из анилинов по Скраупу и Дебнеру – Миллеру. Реакции пиридина и хинолина с алкилгалогенидами. Окисление и восстановление пиридина и хинолина. Реакции электрофильного замещения в пиридине и хинолине. Нуклеофильное замещение атомов водорода в пиридине и хинолине.

Общие вопросы органической медицинской химии

47. Понятие медицинской химии. Философия и история возникновения дисциплины. Актуальные проблемы. Предмет и задачи медицинской химии.

48. Особенности определения термина «лекарство» в медицинской химии. Связь с современными технологиями разработки лекарственных препаратов. Перспективные технологии медицинской химии

49. Основные типы препаратов в актуальных фармакологических областях. Методы дизайна и актуальные примеры. Разработка противоопухолевых, антиинфекционных и сердечно-сосудистых препаратов.

50. Автоматизированные системы генерации структур и библиотек химических соединений. Примеры современных программных систем.
51. Комбинаторные библиотеки. Виртуальный скрининг и компьютерный дизайн.

Рекомендуемая литература

Основная литература:

1. Болотов, В.М. Номенклатура органических соединений: учебное пособие / В.М. Болотов, Е.В. Комарова, П.Н. Саввин; Воронежский государственный университет инженерных технологий. – Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2018. – 97 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=487999> (дата обращения: 20.12.2023).
2. Лебедев, А.Т. Масс-спектрометрия в органической химии: учебное пособие / А.Т. Лебедев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Техносфера, 2015. – 704 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=496508> (дата обращения: 20.12.2023).
3. Номенклатура химических соединений и лекарственных средств: учебное пособие / авт.-сост. А. В. Аксенов, О. Е. Самсонов, И. В. Маликова, Н. А. Аксенов [и др.]. – Ставрополь: Северо-Кавказский Федеральный университет (СКФУ), 2016. – 266 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=459125> (дата обращения: 20.12.2023).
4. Оганесян, Э.Т. Органическая химия: учебник / Э.Т. Оганесян. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2020. – 400 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=601647> (дата обращения: 20.12.2023).
5. Основы теоретических представлений в органической химии: учебное пособие / Е.Н. Уломский, Л.И. Русинова, О.В. Шабунина, В.Л. Русинов; науч. ред. Г.В. Зырянов; Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина. – Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2017. – 58 с.– Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=696268> (дата обращения: 20.12.2023).

Дополнительная литература:

1. Базанов, М.И. Макрогетероциклические соединения: Электрохимия, электрокаталит: монография / М.И. Базанов, Д.А. Филимонов, А.В. Волков, О.И. Койфман. – М.: ЛЕНАНД, 2016. – 320 с.
2. Бромирование карбонилсодержащих соединений и их производных и синтез новых полифункциональных органических веществ / М.Б. Газизов, С.Ю. Иванова, Р.Ф. Каримова [и др.]; Казанский национальный исследовательский технологический университет. – Казань: Казанский научно-исследовательский технологический университет (КНИТУ), 2016. – 84 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=500504> (дата обращения: 20.12.2023).
3. Гильманов, Р.З. N-окиси пиридина: учебное пособие / Р.З. Гильманов, В.А. Петров, Т.Б. Гильманова; Казанский национальный исследовательский технологический университет. – Казань: Казанский научно-исследовательский технологический университет (КНИТУ), 2019. – 96 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=612332> (дата обращения: 20.12.2023).
4. Емельянычева, Е.А. Алкилирование изоалканов алкенами: учебное пособие / Е.А. Емельянычева, Ю.Х. Усманова; Казанский национальный исследовательский технологический университет. – Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет (КНИТУ), 2022. – 104 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=701256> (дата обращения: 20.12.2023).

5. Кузнецов, В.А. Практикум по высокомолекулярным соединениям: учебное пособие / В.А. Кузнецов; Воронежский государственный университет инженерных технологий. – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2014. – 167 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=441593> (дата обращения: 20.12.2023).
6. Нейн, Ю.И. Компьютерное представление химической информации: учебное пособие / Ю.И. Нейн, М.Н. Иванцова; под общ. ред. М.Ф. Костериной; Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина. – Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2020. – 146 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=611086> (дата обращения: 20.12.2023).
7. Таран, О.П. Гетеро-кatalитическое окисление воды и органических веществ в водной среде: монография / О.П. Таран, С.А. Яшник, В.Е. Тарабанько, Б.Н. Кузнецов, В.Н. Пармон; отв. ред. В.Н. Пармон, О.П. Таран. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2017. – 385 с.
8. Теоретические и экспериментальные методы исследования в химии: учебное пособие: в 3 частях / А.В. Билалов, Ю.Г. Гаяметдинов, В.В. Осипова [и др.]; Казанский национальный исследовательский технологический университет. – Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет (КНИТУ), 2022. – Часть 2. Практикум. – 96 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=701265> (дата обращения: 20.12.2023).
9. Тимофеева, М.Н. Органическая химия: сборник задач: учебное пособие / М.Н. Тимофеева, В.Н. Панченко; Новосибирский государственный технический университет. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2019. – 68 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=576563> (дата обращения: 20.12.2023).
10. Улитин, Н.В. Методы моделирования кинетики процессов синтеза и молекулярно-массовых характеристик полимеров / Н.В. Улитин, К.А. Терещенко; Казанский национальный исследовательский технологический университет. – Казань: Казанский научно-исследовательский технологический университет (КНИТУ), 2014. – 232 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=428267> (дата обращения: 20.12.2023).
11. Филатова, Е.А. Функционализация органических соединений: учебное пособие / Е. А. Филатова; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог: Южный федеральный университет, 2020. – 167 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=612181> (дата обращения: 20.12.2023).
12. Химия нитропроизводных пиридина / Г.З. Гильманова, И.Ф. Фаляхов, Г.П. Шарнин [и др.]; Казанский национальный исследовательский технологический университет. – Казань: Казанский научно-исследовательский технологический университет (КНИТУ), 2016. – 116 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=500956> (дата обращения: 20.12.2023).