

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Белгородский Валерий Савельевич  
Должность: Ректор  
Дата подписания: 10.11.2023 17:47:06  
Уникальный программный ключ:  
8df276ee93e17c18e7bee9e7cad2d0ed9ab82473

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина  
(Технологии. Дизайн. Искусство)»

Институт    Аспирантура  
Кафедра    Органической химии

---

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### Химия гетероциклических соединений

---

|   |                          |
|---|--------------------------|
| Уровень образования   | аспирантура              |
| Научная специальность   | 1.4.3 Органическая химия |
| Направленность  | Органическая химия       |
| Срок освоения образовательной программы по очной форме обучения | 4 года                   |
| Форма обучения  | очная                    |

Рабочая программа учебной дисциплины «Химия гетероциклических соединений» основной профессиональной образовательной программы высшего образования, рассмотрена и одобрена на заседании кафедры, протокол №7 от 20.02.2023 г.

Разработчик рабочей программы «Химия гетероциклических соединений»

канд. хим. наук, доцент

Д.Н. Кузнецов

Заведующий кафедрой:

канд. хим. наук, доцент Д.Н. Кузнецов

## 1. Цели освоения учебной дисциплины

В результате освоения учебной дисциплины Химия гетероциклических соединений обучающийся должен:

- интерпретировать современные принципы классификации и номенклатуры гетероциклических соединений.
- перечислить основные современные методы синтеза гетероциклических соединений.
- разработать общие подходы к решению вопроса о планировании и выборе наиболее целесообразного пути синтеза гетероциклических соединений, показать основные современные подходы к синтезу гетероциклических соединений, увидеть в эксперименте проявление наиболее важных химических свойств гетероциклических соединений.

## 2. Место учебной дисциплины (модуля) в структуре программы аспирантуры

Дисциплина Химия гетероциклических соединений включена в часть 2.1 Дисциплины (модули) Образовательного компонента, семестр 2.

Дисциплина базируется на знаниях, умениях и навыках, полученных при освоении дисциплин предыдущего уровня образования (специалитет или магистратура): органическая химия, химия биологически-активных соединений.

## 3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Таблица 1

| Результаты обучения   | Критерии результатов обучения   | Технологии формирования   |
|---|---|---|
| способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях | <b>Знать:</b> современные научные достижения в предметной области химии гетероциклических соединений; – основные достижения и тенденции развития химии гетероциклических соединений: новые подходы к выделению, синтезу и очистке гетероциклических соединений; методы установления структуры органических соединений; методы исследования реакционной способности гетероциклических соединений; методологию комплексных научных исследований в своей предметной области, включая исследования междисциплинарного характера.<br><b>Уметь:</b> проектировать комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения.<br><b>Владеть:</b> осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения. | лекции (Л),<br>практические занятия (ПЗ)<br>самостоятельная работа (СР) |

|   |  |  |
|---|--|--|
| <p>способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий</p> | <p><b>Знать:</b> современные экспериментальные и теоретические методы исследования в области химии гетероциклических соединений; способы, методы и технологии научных исследований.</p> <p><b>Уметь:</b> сформулировать задачи научного исследования в области направленного синтеза соединений с полезными свойствами или новыми структурами и выбрать необходимые методы их решения.</p> <p><b>Владеть:</b> способностью самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в предметной области; информационно-коммуникационными технологиями при решении поставленных задач.</p>  | <p>практические занятия (ПЗ)<br/>самостоятельная работа (СР)</p> |
| <p>готовность организовать работу исследовательского коллектива в области химии и смежных наук</p>  | <p><b>Знать:</b> предметную область и методы исследования в области собственных научных исследований.</p> <p><b>Уметь:</b> организовать работу малого исследовательского коллектива в предметной области; предупреждать и конструктивно разрешать межличностные конфликты в профессиональной деятельности;</p> <p><b>Владеть:</b> способностью организовать работу исследовательского коллектива в области химии и смежных наук.</p>   | <p>самостоятельная работа (СР)</p>                               |
| <p>готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования</p>   | <p><b>Знать:</b> современные образовательные технологии и технологии обучения органической химии; сущность, методологическую основу, структуру и основные принципы построения технологии, требования, предъявляемые к технологиям обучения;</p> <p><b>Уметь:</b> анализировать методические модели, методики, технологии и приемы обучения, тенденции и направления развития образования в мире и анализировать результаты их использования в образовательных заведениях различных типов; разрабатывать учебно-методическое обеспечение для дисциплины органическая химия; проектировать учебные занятия по органической химии.</p> <p><b>Владеть:</b> навыками формирования в педагогических коллективах позитивного психологического климата и этическими нормами в профессиональной деятельности; культурой мышления, способностью к восприятию, анализу, обобщению информации в области традиционных и нетрадиционных педагогических технологий.</p> | <p>самостоятельная работа (СР)</p>                               |

|  |   |  |
|--|---|--|
| <p>способность самостоятельно планировать многоступенчатый синтез сложных по структуре органических соединений с использованием эффективных прекурсоров и билдинг-блоков;</p>  | <p><b>Знать:</b> предметную область химии гетероциклических соединений в соответствии с паспортом научной специальности 02.00.03 Органическая химия; основные достижения и тенденции развития химии гетероциклических соединений: новые подходы к выделению, синтезу и очистке гетероциклических соединений; методы установления структуры органических соединений; методы исследования реакционной способности органических соединений; стереохимические закономерности химических реакций; способы моделирования структур и свойств биологически активных веществ.<br/> <b>Уметь:</b> способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений в области органических соединений; – сформулировать научную проблему в области химии гетероциклических соединений и предложить подходы к ее решению.<br/> <b>Владеть:</b> способностью развивать рациональные пути синтеза сложных молекул и новых молекулярных систем с высокоспецифическими взаимодействиями между молекулами.</p> | <p>лекции (Л), практические занятия (ПЗ) самостоятельная работа (СР)</p> |
| <p>умение грамотно выбирать и использовать практические приемы тонкого органического синтеза, химической технологии, экспериментального оборудования для достижения поставленной цели;</p>   | <p><b>Знать:</b> современные методы исследования в предметной области: синтетические методы в химии гетероциклических соединений;<br/> <b>Уметь:</b> выбрать необходимые методы исследования и обосновать их применимость для решения поставленной задачи в области химии гетероциклических соединений.<br/> <b>Владеть:</b> общими подходами к решению задач, воспроизводящие ситуации, встречающиеся в практике многостадийного синтеза конкретных гетероциклических соединений</p>   | <p>лекции (Л), практические занятия (ПЗ) самостоятельная работа (СР)</p> |
| <p>умение комплексно использовать данные физико-химических исследований органических соединений и квантово-химических расчетов для выявления закономерностей типа «структура-свойства» и последующего моделирования структур с практически важными свойствами.</p> | <p><b>Знать:</b> важнейшие физико-химические методы исследования гетероциклических соединений; возможности структурно-функционального подхода к проблемам количественной оценки реакционной способности гетероциклических соединений и в прогнозировании результатов реакций; основы эмпирических и теоретических методов количественной оценки реакционной способности;<br/> <b>Уметь:</b> применять на практике методы корреляционного анализа органических реакций и квантовой органической химии (метод молекулярных орбиталей, метод возмущений молекулярных орбиталей, принцип сохранения орбитальной симметрии);<br/> <b>Владеть:</b> общими подходами к количественному описанию и систематизации экспериментальных данных в области строения и реакционной способности гетероциклических соединений.</p>   | <p>лекции (Л), практические занятия (ПЗ) самостоятельная работа (СР)</p> |

#### 4. Объем и содержание дисциплины

##### 4.1. Объем дисциплины

Таблица 2

| Показатель объема дисциплины         | Трудоемкость |
|--------------------------------------|--------------|
| Объем дисциплины в зачетных единицах | 2            |
| Объем дисциплины в часах             | 72           |
| Лекции (ч)                           | 20           |
| Практические занятия (семинары) (ч)  | 20           |
| Самостоятельная работа (ч)           | 32           |
| Форма контроля (зач./экз.)           | Зачет        |

## 4.2 Содержание разделов учебной дисциплины (модуля)

Таблица 3

| Наименование раздела учебной дисциплины  | Лекции   |                   | Наименование практических (семинарских) занятий  |                   | Оценочные средства              |
|--|--|-------------------|--|-------------------|---------------------------------|
|  | № и тема лекции  | Трудоемкость, час | № и тема практического занятия   | Трудоемкость, час |                                 |
| 1  | 2  | 3                 | 4  | 5                 | 6                               |
| Основные понятия о гетероциклических соединениях. Синтез гетероциклических систем. | <b>Лекция 1.</b> Классификация гетероциклов: по размеру цикла, по гетероатомам, их числу и взаимному расположению в цикле. Гетероароматичность. Гетероатомы пиррольного и пиридинового типа; исключения, показывающие условность такого деления. Концепция $\pi$ -избыточности и $\pi$ -дефицитности гетаренов.  | 2                 | Номенклатура гетероциклов: тривиальные названия; система Ганча-Видмана и номенклатура IUPAC; заместительная номенклатура аннелированных циклов.  | 2                 | Индивидуальное домашнее задание |
|  | <b>Лекция 2.</b> Синтез гетероциклических соединений. Типы химических реакций, приводящих к формированию гетероциклических соединений (реакции гетероциклизации): реакции циклоприсоединения, электроциклические реакции. Классификация реакций циклоприсоединения: [2+1]-, [3+2]- и [4+2]-циклоприсоединение; особенности циклоприсоединения.   | 2                 | Типичные комбинации реагентов и наиболее распространенные механизмы циклообразования гетероциклических соединений. Правила Болдуина для замыкания цикла.   | 2                 | Индивидуальное домашнее задание |
| Пятичленные гетероциклические соединения с одним гетероатомом.                     | <b>Лекция 3.</b> Фуран, пиррол, тиофен и их производные. Строение молекулы: геометрия и молекулярная диаграмма. Способы получения. Химические свойства: реакции с электрофильными, нуклеофильными и радикальными реагентами, реакции с карбенами, нитренами, окислителями и восстановителями, взаимодействие с диенофилами, ацидофобность. Алкилпирролы, N-металлированные и другие производные. | 2                 | Строение, способы получения и химические свойства пятичленных гетероциклических соединений с одним гетероатомом (фуран, пиррол, тиофен их производные). Важнейшие производные фурана: фурфурол (получение и химические свойства), фурфуроловый спирт, пироксалиновая кислота, тетрагидрофуран. | 2                 | Индивидуальное домашнее задание |
|  | <b>Лекция 4.</b> Бензаннелированные производные пиррола, фурана и тиофена: строение молекул, получение, основные направления реакционной способности, сравнение химической активности с неаннелированной системой.   | 2                 | Строение, способы получения и химические свойства бензаннелированных производных пятичленных гетероциклических соединений с одним гетероатомом.  | 2                 | Индивидуальное домашнее задание |

| 1  | 2  | 3        | 4  | 5        | 6                                      |
|--|--|----------|--|----------|--|
| <p>Пятичленные гетероциклические соединения с двумя гетероатомами.</p>         | <p><b>Лекция 5.</b> 1,2-Азолов (пиразол, изотиазол, изоксазол) и 1,3-Азолы (имидазол, тиазол, оксазол). Строение молекул: геометрия и молекулярные диаграммы. Основные способы получения гетероциклов. Химические свойства 1,2- и 1,3-Азолов. Электрофильная атака по пиридиновому атому азота: реакции с протонными кислотами, алкилирующими и ацилирующими реагентами. Электрофильная атака по углеродным атомам гетерокольца (влияние природы гетероатомов и заместителей на направление и эффективность протекания химических реакций): нитрование, сульфирование, галогенирование, азосочетание, ацилирование, нитрозирование. Нуклеофильная атака по углеродным атомам гетерокольца и пиррольному N-атому (в пиразоле и имидазоле): раскрытие гетероциклической системы, образование N-металлированных производных. Реакции с диенофилами, окислителями и восстановителями. Взаимодействия с участием боковых заместителей. Бензаннелированные производные 1,2-азолов (индоксазен, антранил, бензопиразол, бензизотиазол). Бензаннелированные производные 1,3-азолов (бензоксазол, бензотиазол, бензимидазол).</p> | <p>2</p> | <p>Строение, способы получения и химические свойства 1,2- и 1,3-Азолов. Сравнительная характеристика 1,2- и 1,3-азолов в реакциях с электрофильными и нуклеофильными реагентами.</p> | <p>2</p> | <p>Индивидуальное домашнее задание</p> |
| <p>Пятичленные гетероциклические соединения с тремя и более гетероатомами.</p> | <p><b>Лекция 6.</b> 1,2,3- и 1,2,4-Триазолы. Прототропная изомерия. Строение молекул 1Н- и 2Н-изомеров: геометрия и молекулярные диаграммы. Способы получения 1,2,3- и 1,2,4-триазолов и их производных. Химические свойства: реакции с электрофильными и нуклеофильными реагентами, перегруппировки (перегруппировка Димрота), фотохимические превращения. Тетразолы. Типы таутомерных превращений: прототропная перегруппировка, кето-енольная таутомерия, имино-енаминная таутомерия, тион-тиольная таутомерия, азидо-азаметино-тетразольная таутомерия. Строение молекул 1Н- и 2Н-тетразолов: геометрия и молекулярные диаграммы. Способы получения 1Н- и 2Н-тетразолов и их производных. Химические свойства: реакции с электрофильными реагентами (по С- и N-атомам цикла и в боковой цепи), реакции с нуклеофильными реагентами (депротонирование, замещение легко уходящей группы при С-атоме, раскрытие цикла), термические и фотохимические перегруппировки.</p>   | <p>2</p> | <p>Строение, способы получения и химические свойства 1,2,3- и 1,2,4-Триазолов. Способы получения и химические свойства 1Н- и 2Н-тетразолов и их производных.</p>                     | <p>2</p> | <p>Индивидуальное домашнее задание</p> |

| 1   | 2   | 3 | 4  | 5 | 6                               |
|---|---|---|--|---|---------------------------------|
| Шестичленные гетероциклические соединения с одним гетероатомом. | <p><b>Лекция 7.</b> Пиридин и его неаннелированные производные. Строение пиридина: геометрия молекулы и молекулярная диаграмма. Пиридиновый атом азота и его роль в ароматической системе молекулы. Общие сведения о пиридине, его физико-химические константы; сравнение с бензолом, нитробензолом и пирролом. Способы получения пиридина и его неаннелированных производных в промышленности и в лабораторной практике. Формальная <math>\pi</math>-эквивалентность и фактическое поведение пиридина в химических реакциях (<math>\pi</math>-дефицитность) с точки зрения гипотезы <math>\pi</math>-избыточности и <math>\pi</math>-дефицитности гетероциклических соединений. Химические свойства пиридина и его неаннелированных производных. Реакции с электрофильными реагентами: реакции по С-атомам кольца (нитрование, сульфирование, галогенирование, меркурирование, нитрозирование, азосочетание, взаимодействие с альдегидами) и N-атому (протонирование сильными минеральными кислотами, комплексообразование с ионами тяжелых металлов, взаимодействие с алкилгалогенидами, галогенангидридами, галогенами, участие в реакциях типа Михаэля, взаимодействие с кислотами Льюиса).</p> | 2 | Строение, способы получения и химические свойства пиридина и его неаннелированные производных.   | 2 | Индивидуальное домашнее задание |
|   | <p><b>Лекция 8.</b> Реакции с нуклеофильными реагентами: реакции по С-атомам кольца (гидроксилирование, алкоксилирование, аминирование по Чичибабину, взаимодействие с металлоорганическими реагентами, активированными метильными и метиленовыми соединениями, ангидрооснованиями и солями синильной кислоты). Реакции со свободнорадикальными реагентами: реакции восстановления и окисления, фотохимические превращения. Способы получения N-Оксид пиридина. Химические свойства: нитрование, сульфирование, галогенирование, O-метилирование, взаимодействие с реагентами Гриньяра, восстановление. Реакции производных пиридина (пиколинов, других алкилпиридинов, гидрокс-, amino- и галогенпиридинов) в боковой цепи.</p>  | 2 | Бензаннелированные производные пиридина (хинолин, изохинолин, акридин). Химические свойства. Реакции с электрофильными и нуклеофильными реагентами | 2 | Индивидуальное домашнее задание |

| 1  | 2  | 3         | 4   | 5         | 6                               |
|--|--|-----------|---|-----------|---------------------------------|
| Шестичленные гетероциклические соединения с двумя и более гетероатомами. | <p><b>Лекция 9.</b> 1,2-Диазины (пиридазины). Строение молекулы пиридазина: геометрия и молекулярная диаграмма. Способы получения пиридазина и его производных. Химические свойства: реакции с нуклеофильными реагентами (растворами щелочей, растворами алкоголятов щелочных металлов, реактивами Гриньяра, бутиллитием), реакции с электрофильными реагентами (алкилирование, конденсации с участием метильного заместителя), свободнорадикальное фенилирование, реакции восстановления и окисления.</p> <p>1,3-Диазины (пиримидины). Строение молекулы пиримидина: геометрия и молекулярная диаграмма. Способы получения пиримидина и его производных. Химические свойства: реакции с нуклеофильными реагентами (амидом калия в жидком аммиаке, реактивами Гриньяра, фениллитием, гидразингидратом, замещение легко уходящей группы метанолом, реакции через гетариновый интермедиат), реакции с электрофильными реагентами (алкилирование N-атома, бромирование, конденсации с участием метильного заместителя), свободнорадикальное фенилирование и арилирование, окисление до N-оксида.</p> <p>1,4-Диазины (пиразины). Строение молекулы пиразина: геометрия и молекулярная диаграмма. Способы получения пиридазина и его производных. Химические свойства: реакции с нуклеофильными реагентами (амид натрия, азид натрия, замещение легко уходящих групп под действием аммиака), реакции с электрофильными реагентами (хлором, алкилирование N-атома), реакции в боковой цепи (свободнорадикальное хлорирование, диазотирование и хлорирование аминогруппы, алкилирование и ацилирование метильного заместителя и др.), восстановление и окисление до N-оксида.</p> | 2         | Строение, способы получения и химические свойства пиридазинов, пиримидинов, пиразинов, симм-триазинов | 2         | Индивидуальное домашнее задание |
|  | <p>1,3,5-Триазин (симм-триазин). Строение молекулы 1,3,5-триазина: геометрия и молекулярная диаграмма. Способы получения 1,3,5-триазина и его производных. Краткая характеристика физических и химических свойств.</p> <p>1,2,4,5-Тетразины (симм-тетразины). Строение молекулы 1,2,4,5-тетразина: геометрия и молекулярная диаграмма. Способы получения 1,2,4,5-тетразина и его производных. Краткая характеристика физических и химических свойств.</p>  | 2         |   | 2         |                                 |
| <b>ВСЕГО часов в семестре</b>  |  | <b>20</b> |   | <b>20</b> | Зачет                           |

## 5. Самостоятельная работа обучающихся

Таблица 4

| № п/п                          | Наименование раздела учебной дисциплины (модуля)                                   | Содержание самостоятельной работы                     | Трудоемкость в часах |
|--------------------------------|--|---|----------------------|
| 1                              | Основные понятия о гетероциклических соединениях. Синтез гетероциклических систем. | Работа с литературой. Индивидуальное домашнее задание | 2                    |
| 2                              | Пятичленные гетероциклические соединения с одним гетероатомом.                     | Работа с литературой. Индивидуальное домашнее задание | 2                    |
| 3                              | Пятичленные гетероциклические соединения с двумя гетероатомами.                    | Работа с литературой. Индивидуальное домашнее задание | 7                    |
| 4                              | Пятичленные гетероциклические соединения с тремя и более гетероатомами.            | Работа с литературой. Индивидуальное домашнее задание | 7                    |
| 5                              | Шестичленные гетероциклические соединения с одним гетероатомом.                    | Работа с литературой. Индивидуальное домашнее задание | 7                    |
| 6                              | Шестичленные гетероциклические соединения с двумя и более гетероатомами.           | Работа с литературой. Индивидуальное домашнее задание | 7                    |
| <b>ВСЕГО часов в семестре:</b> |  |   | <b>32</b>            |

## 6. Образовательные технологии

При освоении дисциплины Химия гетероциклических соединений используются следующие образовательные технологии:

- лекции
- практические занятия
- самостоятельная работа
- защита индивидуального домашнего задания

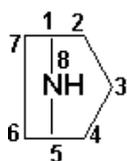
## 7. Фонд оценочных средств для проведения текущей и промежуточной аттестации по дисциплине

**7.1 Примерная тематика курсовых проектов (работ) – не предусмотрены.**

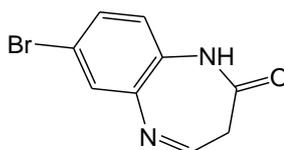
**7.2 Примеры используемых оценочных средств для текущего контроля**

*Индивидуальное домашнее задание по теме «Основные понятия о гетероциклических соединениях. Синтез гетероциклических систем»*

1. Назовите нижеприведенные структурные формулы соединений согласно систематической номенклатуре Ганча-Видмана. Изобразите структурные формулы нижеприведенных соединений.



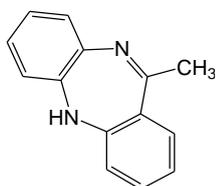
- а) 1H-4,5-дигидро-1,2-дiazол  
б) азино[2,3-b]азин



- в) 2-амино-5-фенил-1,3-оксазол-4-он



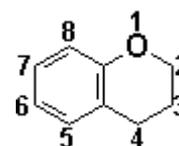
2. Назовите нижеприведенные структурные формулы соединений согласно систематической номенклатуре Ганча-Видмана. Изобразите структурные формулы нижеприведенных соединений.



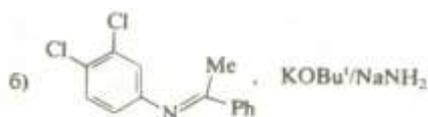
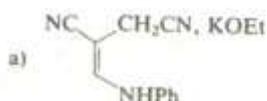
- а) 2,3-дигидро-1H-бенз[b]азол  
б) 10H-дibenзо[b,e]тиазин

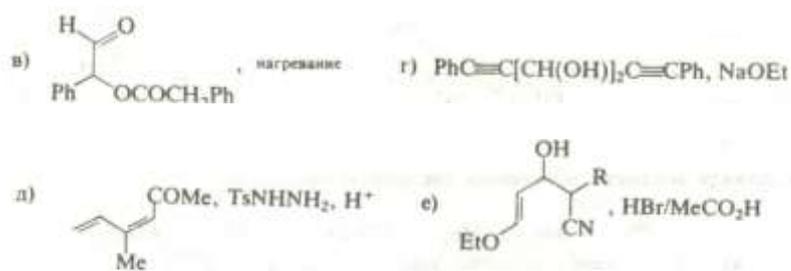


- в) 7-Хлор-1,3-дигидро-1-метил-5-фенил-2H-1,4-бензодиазепин-2-он

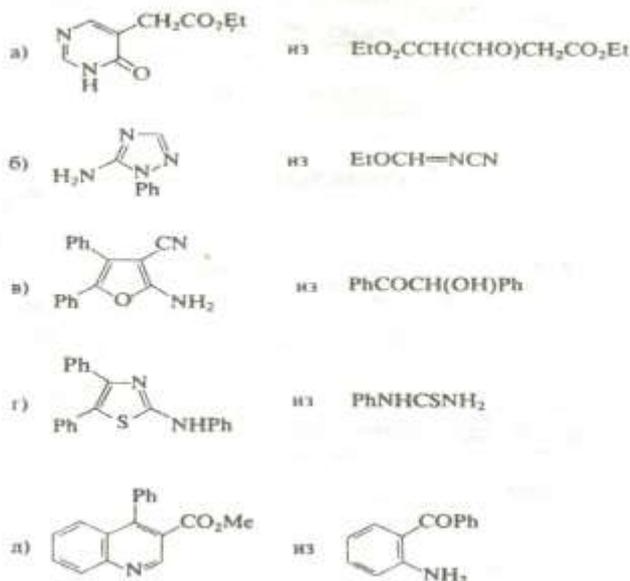


3. Предскажите структуру соединения, образующегося в результате внутримолекулярной циклизации приведенных ниже соединений, и определите природу стадии замыкания цикла.

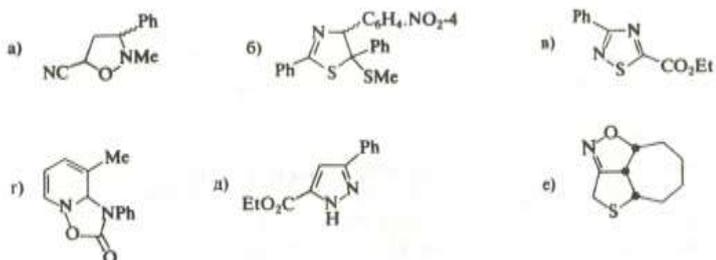




4. Предложите схему синтеза гетероциклических соединений из указанных исходных соединений, используя также другие подходящие реагенты:



5. Нарисуйте структуры 1,3-диполярных соединений и дипольофилов, необходимых для синтеза следующих соединений:



*Индивидуальное домашнее задание по теме «Пятичленные гетероциклические соединения с одним гетероатомом»*

1. Строение молекул фурана, пиррола, тиофена и их производных.
2. Способы получения пятичленных гетероциклических соединений с одним гетероатомом.
3. Химические свойства фурана: реакции с электрофильными, нуклеофильными и радикаль-ными реагентами, реакции с карбенами, нитренами, окислителями и восстановителями, взаимодействие с диенофилами, ацидофобность.
4. Химические свойства пиррола: реакции с электрофильными, нуклеофильными и радикаль-ными реагентами, реакции с карбенами, окислителями и

восстановителями, взаимодействие с диенофилами, ацидофобность. Алкилпирролы, N-металлированные и другие производные.

5. Бензаннелированные производные пиррола (индол): строение молекул, основные направления реакционной способности, сравнение химической активности с неаннелированной системой.

*Индивидуальное домашнее задание по теме «Пятичленные гетероциклические соединения с двумя гетероатомами»*

1. Строение молекул 1,2-Азолов (пиразол, изотиазол, изоксазол): геометрия и молекулярные диаграммы.
2. Строение молекул 1,3-Азолы (имидазол, тиазол, оксазол): геометрия и молекулярные диаграммы.
3. Основные способы получения 1,2-Азолов.
4. Основные способы получения 1,3-Азолов.
5. Электрофильная атака по пиридиновому атому азота в 1,2-азолах: реакции с протонными кислотами, алкилирующими и ацилирующими реагентами. Электрофильная атака по углеродным атомам гетерокольца (влияние природы гетероатомов и заместителей на направление и эффективность протекания химических реакций): нитрование, сульфирование, галогенирование.

*Индивидуальное домашнее задание по теме «Пятичленные гетероциклические соединения с тремя и более гетероатомами»*

1. Прототропная изомерия в ряду 1,2,3-Триазолов
2. Способы получения 1,2,3-триазолов и их производных.
3. Химические свойства 1,2,3-триазолов: реакции с электрофильными и нуклеофильными реагентами, перегруппировки (перегруппировка Димрота), фотохимические превращения.
4. Химические свойства 1,2,4-триазолов: реакции с электрофильными и нуклеофильными реагентами, перегруппировки.
5. Типы таутомерных превращений в ряду тетразолов: прототропная перегруппировка, кето-енольная таутомерия, имино-енаминная таутомерия, тионтиольная таутомерия, азидо-азаметино-тетразольная таутомерия.

*Индивидуальное домашнее задание по теме «Шестичленные гетероциклические соединения с одним гетероатомом»*

1. Пиридиновый атом азота и его роль в ароматической системе молекулы. Сравнение с бензолом, нитробензолом и пирролом.
2. Способы получения пиридина и его неаннелированных производных в промышленности и в лабораторной практике.
3. Формальная  $\pi$ -эквивалентность и фактическое поведение пиридина в химических реакциях ( $\pi$ -дефицитность) с точки зрения гипотезы  $\pi$ -избыточности и  $\pi$ -дефицитности гетероциклических соединений.
4. Реакции пиридина с электрофильными реагентами: реакции по C-атомам кольца (нитрование, сульфирование, галогенирование, меркурирование, нитрозирование, азосочетание, взаимодействие с альдегидами) и N-атому (протонирование

сильными минеральными кислотами, комплексообразование с ионами тяжелых металлов, взаимодействие с алкилгалогенидами, галогенангидридами, галогенами, участие в реакциях типа Михаэля, взаимодействие с кислотами Льюиса).

5. Реакции пиридина с нуклеофильными реагентами: реакции по С-атомам кольца (гидроксилирование, алкоксилирование, аминирование по Чичибабину, взаимодействие с металлоорганическими реагентами, активированными метильными и метиленовыми соединениями, ангидрооснованиями и солями синильной кислоты).

*Индивидуальное домашнее задание по теме «Шестиленные гетероциклические соединения с двумя и более гетероатомами»*

1. Способы получения пиридазина и его производных.
2. Химические свойства пиридазина: реакции с нуклеофильными реагентами (растворами щелочей, растворами алкоголятов щелочных металлов, реактивами Гриньяра, бутиллитием), реакции с электрофильными реагентами (алкилирование, конденсации с участием метильного заместителя), свободнорадикальное фенилирование, реакции восстановления и окисления.
3. Способы получения и химические свойства бензаннелированные производные 1,2-диазинов (циннолин, фталазин).
4. Способы получения пиримидина и его производных.
5. Химические свойства пиримидина: реакции с нуклеофильными реагентами (амидом калия в жидком аммиаке, реактивами Гриньяра, фениллитием, гидразингидратом, замещение легко уходящей группы метанолом, реакции через гетариновый интермедиат), реакции с электрофильными реагентами (алкилирование N-атома, бромирование, конденсации с участием метильного заместителя), свободнорадикальное фенилирование и арилирование, окисление до N-оксида.

Полный комплект оценочных средств приведен в приложении к рабочей программе.

### **7.3 Примеры используемых оценочных средств для промежуточной аттестации**

Билет №1

1. Некоторые критерии ароматичности в гетероциклах: длины связей, эффекты кольцевых токов и химические сдвиги в спектрах ЯМР  $^1\text{H}$ .
2. Нуклеофильное замещение в пиридинах; а) реакция Чичибабина. б) vicarious nucleophilic substitution.

Билет № 2

1. Гибридное и валентное состояние атомов азота в аммиаке, пирроле, пиридине, фуране и пирилий катионе. Об условности разделения гетероатомов на три типа. Внутренняя классификация  $\pi$ -избыточных,  $\pi$ -дефицитных и  $\pi$ -амфотерных гетероциклов.
2. Синтез пиридинового кольца из 1,5-дикарбонильных соединений; а) Michael Addition, б) Robinson Annulation, в) The Mukaiyama reaction.

Билет № 3

1. О чем свидетельствует сравнительная небольшая разница в дипольных моментах пиридина и его N-окиси (2.03 D), триметиламина и его N-окиси (4.37 D)?

2. Пиридазин, пиримидин и пиразин. Галогендиазины, сравнение с галогенпиридином, их реакции с нуклеофилами. Механизмы AE и ANRORC (Addition of Nucleophile, Ring Opening, and Ring Closure - присоединение нуклеофила, раскрытие и замыкание цикла).

Полный комплект оценочных средств приведен в приложении к рабочей программе.

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

**8.1 Перечень основной и дополнительной учебной литературы**

**Таблица 5**

| № п/п                            | Автор(ы)                          | Наименование издания  | Вид издания (учебник, учебное пособие, ....) | Издательство                   | Год издания | Кол-во экз. | Электронный ресурс  |
|----------------------------------|-----------------------------------|---|--|--------------------------------|-------------|-------------|---|
| <b>Основная литература</b>       |                                   |   |  |                                |             |             |   |
| 1                                | Юровская М.А.                     | Химия ароматических гетероциклических соединений  | Учебник                                      | Лаборатория знаний             | 2020        | -           | <a href="https://znaniu.m.com/catalog/product/1093261">https://znaniu.m.com/catalog/product/1093261</a> |
| 2                                | Джилкрист Т.                      | Химия гетероциклических соединений  | Учебник                                      | Мир                            | 1996        | 2           | -   |
| 3                                | В. М. Берестовицкая, Э. С. Липина | Химия гетероциклических соединений  | Учебник                                      | Лань                           | 2022        | -           | <a href="https://e.lanbook.com/book/206795">https://e.lanbook.com/book/206795</a>                       |
| 4                                | Миронович Л. М.                   | Гетероциклические соединения с тремя и более гетероатомами                                | Учебное пособие для вузов                    | Лань                           | 2022        | -           | <a href="https://e.lanbook.com/book/197559">https://e.lanbook.com/book/197559</a>                       |
| 5                                | Джоуль Дж., Миллс К.              | Химия гетероциклических соединений  | Учебник                                      | Мир                            | 2004        | 2           | -   |
| 6                                | Пожарский А. Ф.                   | Теоретические основы химии гетероциклов   | Учебник                                      | Химия                          | 1985        | 1           | -   |
| 7                                | Рамш С.М.                         | Руководство по составлению названий гетероциклических соединений (с примерами и задачами) | Учебное пособие                              | Химиздат                       | 2009        | 2           | -   |
| <b>Дополнительная литература</b> |                                   |   |  |                                |             |             |   |
| 1                                | Э. Илиел, С. Вайлен, М. Дойл      | Основы органической стереохимии   | Учебник                                      | М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, | 2014        | -           | <a href="http://znaniu.m.com/catalog/product/544325">http://znaniu.m.com/catalog/product/544325</a>     |

|   |   |   |                    |  |      |   |   |
|---|---|---|--------------------|--|------|---|---|
| 2 | Курц А.Л.,<br>Ливанцов М.В.,<br>Чепраков А.В.,<br>Ливанцова Л.И.,<br>Зайцева Г.С.,<br>Кабачник М.М. | Задачи по<br>органической<br>химии с решениями        | Учебное<br>пособие | М.:<br>БИНОМ.<br>Лаборатор<br>ия знаний, | 2014 | - | <a href="http://znaniu.m.com/catalog/product/365577">http://znaniu.m.com/catalog/product/365577</a> |
| 3 | Пакетт Л.   | Основы современной химии гетероциклических соединений | Учебник            | Мир                                      | 1971 | 2 | -   |
| 4 | Джоуль Дж.  | Основы химии гетероциклических соединений             | Учебник            | Мир                                      | 1975 | 2 | -   |

## 8.2 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, электронных образовательных ресурсов локальных сетей РГУ им. А.Н. Косыгина, необходимых для освоения дисциплины

1. Библиотека РГУ им. А.Н. Косыгина <http://biblio.mgudt.ru/jirbis2/>.
2. Электронно-библиотечная система (ЭБС) «ИНФРА-М» «Znanium.com» <http://znanium.com/>.
3. Реферативная база данных «Web of Science» <http://webofknowledge.com/>.
4. Реферативная база данных «Scopus» <http://www.scopus.com/>.
5. Патентная база данных компании «QUESTEL – ORBIT» <https://www37.orbit.com/#PatentEasySearchPage>.
6. Электронные ресурсы издательства «SPRINGER NATURE» <http://www.springernature.com/gp/librarians>.
7. ООО «ИВИС» <http://dlib.eastview.com/>.
8. Научная электронная библиотека «eLIBRARY.RU» <http://www.elibrary.ru/>.
9. Национальная электронная библиотека («НЭБ») <http://нэб.рф/>.
10. База данных Organic Syntheses: <http://www.orgsyn.org>
11. База данных ChemSynthesis: <http://www.chemsynthesis.com>
12. US Patent and Trademark Office (USPTO) <http://patft.uspto.gov>
13. European Patent office <https://worldwide.espacenet.com>

## 9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Материально-техническое обеспечение дисциплины при обучении с использованием традиционных технологий обучения.

| Наименование учебных аудиторий, лабораторий, мастерских, библиотек, спортзалов, помещений для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования и т.п.              | Оснащенность учебных аудиторий, лабораторий, мастерских, библиотек, спортивных залов, помещений для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования и т.п. |
|---|--|
| 117997, г. Москва, ул. Садовническая, д. 33, стр. 1   |  |
| Аудитория №757 – учебная аудитория для проведения занятий лекционного и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. | Комплект учебной мебели, технические средства обучения, служащие для представления учебной информации аудитории: проектор, экран для проектора, меловая доска.             |

| Помещения для самостоятельной работы обучающихся   | Оснащенность помещений для самостоятельной работы обучающихся   |
|--|---|
| 119071, г. Москва, ул. Малая Калужская, д.1, стр.3   |   |
| читальный зал библиотеки   | – компьютерная техника; подключение к сети «Интернет»   |
| Аудитория №1154 - читальный зал библиотеки: помещение для самостоятельной работы, в том числе, научно-исследовательской, подготовки курсовых и выпускных квалификационных работ  | – Шкафы и стеллажи для книг и выставок, комплект учебной мебели, 1 рабочее место сотрудника и 3 рабочих места для студентов, оснащенные персональными компьютерами с подключением к сети «Интернет» и обеспечением доступа к электронным библиотекам и в электронную информационно-образовательную среду организации. |
| Аудитория №1155 - читальный зал библиотеки: помещение для самостоятельной работы, в том числе, научно-исследовательской, подготовки курсовых и выпускных квалификационных работ. | – Каталоги, комплект учебной мебели, трибуна, 2 рабочих места для студентов, оснащенные персональными компьютерами с подключением к сети «Интернет» и обеспечением доступа к электронным библиотекам и в электронную информационно-образовательную среду организации.   |
| Аудитория №1156 - читальный зал библиотеки: помещение для самостоятельной работы, в том числе, научно-исследовательской, подготовки курсовых и выпускных квалификационных работ. | – Стеллажи для книг, комплект учебной мебели, 1 рабочее место сотрудника и 8 рабочих места для студентов, оснащенные персональными компьютерами с подключением к сети «Интернет» и обеспечением доступа к электронным библиотекам и в электронную информационно-образовательную среду организации.                    |

Материально-техническое обеспечение учебной дисциплины при обучении с использованием электронного обучения и дистанционных образовательных технологий.

| Необходимое оборудование   | Параметры                       | Технические требования  |
|--|---------------------------------|---|
| Персональный компьютер/<br>ноутбук/планшет,<br>камера,<br>микрофон,<br>динамики,<br>доступ в сеть Интернет | Веб-браузер                     | Версия программного обеспечения не ниже: Chrome 72, Opera 59, Firefox 66, Edge 79, Яндекс. Браузер 19.3 |
|  | Операционная система            | Версия программного обеспечения не ниже: Windows 7, macOS 10.12 «Sierra», Linux                         |
|  | Веб-камера                      | 640x480, 15 кадров/с  |
|  | Микрофон                        | любой   |
|  | Динамики (колонки или наушники) | любые   |
|  | Сеть (интернет)                 | Постоянная скорость не менее 192 кБит/с   |

Технологическое обеспечение реализации программы осуществляется с использованием элементов электронной информационно-образовательной среды университета.

Перечень лицензионного программного обеспечения:

Microsoft® Windows® XP Professional Russian Upgrade/Software Assurance Pack Academic OPEN No Level, артикул E85-00638; лицензия №18582213 от 30.12.2004 (бессрочная корпоративная академическая лицензия);

Microsoft® Office Professional Win 32 Russian License/Software Assurance Pack Academic OPEN No Level, артикул 269-05620; лицензия №18582213 от 30.12.2004 (бессрочная корпоративная академическая лицензия).

Microsoft Windows Professional 7 Russian Upgrade Academic Open No Level, артикул FQC-02306, лицензия № 46255382 от 11.12.2009 (копия лицензии; бессрочная академическая лицензия; центр поддержки корпоративных лицензий Microsoft).

Microsoft Office Professional Plus 2010 Russian Academic Open No Level, лицензия 47122150 от 30.06.2010 (бессрочная академическая лицензия; центр поддержки корпоративных лицензий Microsoft).

Система автоматизации библиотек ИРБИС64, договора на оказание услуг по поставке программного обеспечения №1/28-10-13 от 22.11.2013, №1/21-03-14 от 31.03.2014 (копии договоров).

Google Chrome (свободно распространяемое).

Adobe Reader (свободно распространяемое).

Kaspersky Endpoint Security для бизнеса - Стандартный Russian Edition, 250-499 Node 1 year Educational Renewal License; договор №218/17 - КС от 21.11.2018.