

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Ректор Белорусского
государственного университета

А.Д.Король

23 мая 2025 г.

Регистрационный № УД-14113/уч.



ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА

Учебная программа учреждения образования по учебной дисциплине для
специальности:

1-31 05 01 Химия (по направлениям)

1-31 05 01-01 Химия (научно-производственная деятельность)

1-31 05 01-03 Химия (фармацевтическая деятельность)

2025 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 05 01-2021, учебных планов БГУ № G-31-1-231/уч. от 22.03.2022., № G-31-1-233/уч. от 22.03.2022.

СОСТАВИТЕЛЬ:

М.Ф.Заяц, заведующий кафедрой аналитической химии химического факультета Белорусского государственного университета, доктор химических наук, доцент

РЕЦЕНЗЕНТ:

А.Л.Козлова-Козыревская, заведующий кафедрой химии факультета естествознания учреждения образования «Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка», кандидат химических наук, доцент

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

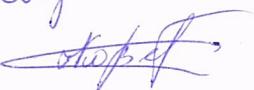
Кафедрой аналитической химии БГУ
(протокол № 16 от 15.05.2025);

Научно-методическим советом БГУ
(протокол № 10 от 22.05.2025)

Заведующий кафедрой



М.Ф.Заяц

2 Т.В.Ковалевич-Радинская


ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебная дисциплина «Хроматографические методы анализа» является одной из важнейших дисциплин в системе химического образования химиков-аналитиков. Дисциплина относится к области современной аналитической химии и является особенно актуальной при подготовке специалистов, готовых решать актуальные задачи на современном аналитическом оборудовании. Изучение данной дисциплины опирается на знание студентами основ аналитической, физической и органической химии.

Хроматографические методы анализа позволяют разделять, идентифицировать и количественно определять компоненты сложных смесей. Данный метод даёт возможность анализа смесей, состоящих из тысяч химических соединений, и используется для различных анализов: от неорганических ионов до сложнейших биополимеров, включая белки, углеводы, нуклеиновые кислоты.

Хроматографические методы анализа находят эффективное применение для решения как фундаментальных исследовательских задач, так и практических задач в экологическом мониторинге, криминалистике, нефтехимической промышленности, биологии и медицине, допинг-контроле и многих других областях.

Цели и задачи учебной дисциплины

Цель учебной дисциплины – сформировать у будущего химика-аналитика такую систему теоретических и практических знаний в области газовой и жидкостной хроматографии, которая позволит ему в будущей профессиональной деятельности осуществить выбор оптимального способа решения конкретных аналитических задач по идентификации и установлению количественного содержания каждого из компонентов в исследуемом объекте.

Задачи учебной дисциплины:

1. Ознакомить студентов с теоретическими основами газовой и жидкостной хроматографии;

2. Дать развернутую характеристику особенностей практического использования основных вариантов газовой и жидкостной хроматографии для идентификации и установления количественного содержания каждого из компонентов в исследуемых объектах.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием.

Учебная дисциплина относится к дисциплинам специализаций компонента учреждения высшего образования.

Связи с другими учебными дисциплинами. Учебная дисциплина «Хроматографические методы анализа» базируется на знаниях, полученных студентами ранее в ходе изучения дисциплин «Аналитическая химия», «Физико-химические методы анализа», «Органическая химия», «Физическая химия».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Хроматографические методы анализа» должно обеспечить формирование следующих компетенций:

Специализированные компетенции:

1-31 05 01-01 Химия (научно-производственная деятельность)

Применять химические и физико-химические методы анализа для решения производственных и экспертных задач в области идентификации и определения основных компонентов в объектах природного и синтетического происхождения.

1-31 05 01-03 Химия (фармацевтическая деятельность)

Применять химические, физико-химические, био- и наноаналитические методы для анализа биологических объектов и биологически активных соединений, оценки качества фармацевтических продуктов, решения производственных и экспертных задач в области фармацевтического анализа.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

знать:

- основные положения теории теоретических тарелок Мартина используемых для описания процесса хроматографического разделения
- основные положения диффузионной теории Ван-Деемтера, используемых для описания процесса хроматографического разделения,
- особенности устройства и функционирования хроматографического оборудования при осуществлении разделений с использованием приемов газовой хроматографии,
- особенности устройства и функционирования хроматографического оборудования при осуществлении разделений с использованием приемов жидкостной хроматографии.

уметь:

- использовать основные положения теорий математического описания процесса хроматографического разделения для реализации на практике оптимальных условий функционирования выбранной хроматографической колонки,
- применять для осуществления разделений наиболее оптимальные подвижные и неподвижные фазы, хроматографические детекторы,
- осуществлять выбор оптимального варианта для наиболее достоверной идентификации компонентов и установления их количественного содержания в анализируемых объектах;

владеть:

- общей методологией хроматографического метода анализа с использованием основных технических приемов газовой и жидкостной хроматографии при осуществлении анализов самых различных объектов;
- исследовательскими навыками, системным и сравнительным анализом.

Структура учебной дисциплины

Направление специальности 1-31 05 01-01 Химия (научно-производственная деятельность)

Дисциплина изучается в 7 семестре. В соответствии с учебным планом всего на изучение учебной дисциплины «Хроматографические методы анализа» отведено **для очной формы** получения высшего образования – 94 часа, в том числе 38 аудиторных часа: лекции – 24 часа, практические занятия – 4 часа, семинарские занятия – 10 часов. Из них:

Лекции – 24 часа, семинарские занятия – 4 часа, практические занятия – 4 часа, управляемая самостоятельная работа – 6 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации – зачет.

Направление специальности 1-31 05 01-03 Химия (фармацевтическая деятельность)

Дисциплина изучается в 7 семестре. В соответствии с учебным планом всего на изучение учебной дисциплины «Хроматографические методы анализа» отведено **для очной формы** получения высшего образования – 100 часов, в том числе 50 аудиторных часа: лекции – 18 часов, практические занятия – 6 часов, семинарские занятия – 26 часов. Из них:

Лекции – 18 часов, семинарские занятия – 12 часов + 10 часов ДОТ, практические занятия – 6 часов, управляемая самостоятельная работа – 4 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации – зачет.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1. Предмет и задачи современной хроматографии. История хроматографии

Тема 1.1. Предмет и задачи современной хроматографии. История хроматографии.

Предмет, задачи и проблемы современной хроматографии и ее роль в анализе состава различных объектов.

История возникновения и развития. Классификация методов.

Основные термины и понятия в области хроматографического анализа

Раздел 2. Аппаратура газовой хроматографии

Тема 2.1. Устройство газового хроматографа. Газы-носители.

Устройства ввода проб. Автоматизированная пробоподготовка

Принципиальная схема газового хроматографа.

Газы-носители, требования, достоинства, недостатки. Характеристики основных газов-носителей. Регулирование давления, очистка газов.

Устройства для ввода проб газов, жидкостей, твердых веществ. Испарители с делением и без деления потока, испаритель с программированием температуры. Дискриминация пиков.

Автоматизированная пробоподготовка в газовой хроматографии. Ввод равновесной паровой фазы. Твердофазная микроэкстракция. Микроэкстракция одной каплей. Термодесорбция. Пиролитическая приставка.

Тема 2.2. Колонки для газовой хроматографии.

Классификация хроматографических колонок. Требования к материалу хроматографической колонки. Насадочные и капиллярные хроматографические колонки. Природа неподвижной фазы. Дезактивация. Длина колонок. Внутренний диаметр колонок. Толщина неподвижной фазы.

Характеристика свойств неподвижных жидких фаз. Температурные пределы использования. Важнейшие неподвижные жидкие фазы.

Важнейшие адсорбенты и характеристика их свойств. Приложение теории адсорбции к газовой хроматографии.

Основные преимущества и недостатки методов газо-адсорбционной и газо-жидкостной хроматографии.

Особенности практического применения методов газо-адсорбционной и газо-жидкостной хроматографии для анализа различных объектов.

Тема 2.3. Детекторы в газовой хроматографии.

Детекторы в газовой хроматографии. Назначение, основные характеристики: чувствительность, предел детектирования, линейность, селективность. Концентрационные и потоковые детекторы. Разрушающие и неразрушающие. Шум и дрейф.

Особенности устройства и функционирования детектора по теплопроводности. Катарометрический детектор. Основные механизмы

тепловых потерь. Режимы функционирования (снятия сигнала). Схема моста Уитстона. Оптимизация работы. Термисторный детектор. Характеристики детекторов по теплопроводности. Применение.

Особенности устройства, функционирования и области применения пламенно-ионизационного детектора, термоионного детектора, детектора электронного захвата, пламенно-фотометрического детектора.

Раздел 3. Теоретические основы газовой хроматографии

Тема 3.1. Теоретическое описание процесса хроматографического разделения смесей веществ.

Теория теоретических тарелок Мартина. Диффузионная теория Ван-Деемтера.

Обработка результатов процесса хроматографического разделения. Основные уравнения теории удерживания в хроматографии.

Основные факторы размывания хроматографических зон разделяемых соединений.

Оценка параметров эффективности и селективности хроматографической колонки. Коэффициент емкости хроматографической колонки по отношению к разделяемым соединениям и его влияние на параметры разделения. Число теоретических тарелок, степень разделения, параметр разрешения хроматографических зон разделяемых соединений.

Тема 3.2. Влияние условий проведения анализа на эффективность разделения.

Влияние скорости потока газа-носителя на эффективность функционирования хроматографической насадочной и капиллярной колонки. Уравнение Ван-Деемтера и уравнение Голея.

Влияние количества неподвижной жидкой фазы на эффективность разделения.

Влияние температуры процесса разделения на параметры газа-носителя, параметры удерживания и степень размывания хроматографических зон разделяемых соединений.

Разделение с программированием температуры.

Раздел 4. Теоретические и практические основы жидкостной хроматографии

Тема 4.1. Устройство жидкостного хроматографа. Основные экспериментальные методы жидкостной колоночной хроматографии

Устройство жидкостного хроматографа.

Фронтальный метод анализа.

Вытеснительный метод анализа.

Элюентный метод анализа: метод изократического и градиентного элюирования.

Хроматография с прямыми и обращенными фазами.

Высокоэффективная и ультраэффективная жидкостная хроматография.

Особенности практического применения метода для анализа различных объектов.

Тема 4.2. Неподвижная фаза и колонки для жидкостной хроматографии.

Неподвижная фаза и колонки для жидкостной хроматографии. Классификация сорбентов по их способности к различным типам межмолекулярных взаимодействий. Важнейшие сорбенты и характеристика их свойств.

Эффективность классических насадочных хроматографических колонок. Выбор типа хроматографической колонки. Приготовление хроматографической колонки. Приготовление сорбентов. Основные методы пропитки. Сорбенты с химически связанный неподвижной фазой. Ввод анализируемой пробы в колонку.

Тема 4.3. Подвижная фаза в жидкостной хроматографии.

Требования к подвижным растворителям.

Элюирующая сила подвижных растворителей. Элюотропные ряды. Селективность подвижных растворителей.

Специфические модификаторы.

Очистка и дегазация подвижных растворителей.

Особенности работы с водными подвижными растворителями.

Основы рационального выбора подвижного растворителя для оптимального разделения.

Тема 4.4. Характеристика хроматографических свойств разделяемых соединений.

Количественные характеристики степени полярности разделяемых соединений.

Количественные характеристики гидрофобности разделяемых соединений.

Количественные характеристики растворимости разделяемых соединений в подвижных растворителях.

Характеристика способности разделяемых соединений к различным типам межмолекулярных взаимодействий.

Раздел 5. Детекторы в жидкостной хроматографии

Тема 5.1. Детекторы в жидкостной хроматографии.

Детекторы в жидкостной хроматографии. Назначение, основные характеристики: чувствительность, предел детектирования, линейность, селективность. Концентрационные и потоковые детекторы. Разрушающие и неразрушающие. Шум и дрейф.

Особенности устройства, функционирования и области применения фотометрических детекторов: с набором светофильтров на несколько длин волн, одноволновой и многоволновой детекторы, мультиволновой фото-диодно-матричный детектор. Особенности устройства, функционирования и области применения ИК-детектора, детектора по электропроводности, флуоресцентного

детектора, рефрактометрического детектора, электрохимических детекторов, вискозиметрического детектора, испарительного детектора светорассеяния.

Раздел 6. Методы идентификации и установления количественного содержания разделяемых соединений в хроматографии

Тема 6.1. Методы идентификации разделяемых соединений в хроматографии.

Идентификация разделяемых соединений по величинам удерживания. Идентификация разделяемых соединений по инкрементам групп. Идентификация разделяемых соединений по индексам удерживания Ковача.

Использование корреляционных зависимостей.

Идентификация по эталонным веществам (растворам стандартных веществ). Метод добавок.

Использование спектральных детекторов для идентификации пиков. «Чистота» пика. Аналитическая реакционная хроматография, дериватизация.

Основные факторы, влияющие на изменение параметров удерживания разделяемых соединений и возможные пути их устранения.

Тема 6.2. Методы определения количественного содержания разделяемых соединений в хроматографии.

Параметры хроматографического пика как характеристика количественного содержания вещества.

Высота хроматографического пика как параметр для установления количественного содержания.

Площадь регистрируемой хроматографической зоны как параметр для установления количественного содержания исследуемого соединения.

Шум и дрейф. Отношение сигнал шум как ключевой аналитический сигнал. Предел обнаружения и определения.

Метод градуировочного графика, статистическая информация о характере линии регрессии. Метод внутреннего эталона, метод добавок, метод нормировки.

Раздел 7. Использование жидкостной хроматографии для разделения белков.

Тема 7.1. Жидкостная хроматография гидрофильного взаимодействия (HILIC). Хроматография гидрофобного взаимодействия (HIC).

Принцип, положенный в основу разделения веществ методом жидкостной хроматографии гидрофильного взаимодействия (HILIC). Подвижная и неподвижная фазы. Влияние pH. Жидкостная хроматография гидрофильного взаимодействия с электростатическим отталкиванием (ERLIC). Принцип разделения веществ, сходство и различия с HILIC.

Принцип, положенный в основу разделения веществ методом хроматографии гидрофобного взаимодействия (HIC). Подвижная и неподвижная фазы. Применение.

Тема 7.2. Эксклюзионная хроматография (SEC).

Принцип, положенный в основу разделения веществ методом эксклюзионной хроматографии (SEC). Подвижная и неподвижная фазы. Использование добавок к подвижной фазе. Калибровочные кривые для гель-хроматографии. Детекторы для эксклюзионной хроматографии. Выбор колонок и условий для биоэксклюзионной хроматографии.

Раздел 8. Основы тонкослойной хроматографии.

Тема 8.1. Основы тонкослойной хроматографии.

Неподвижные и подвижные фазы в плоскостной хроматографии. Теоретические основы разделения. Практические аспекты проведения разделения методом ТСХ. Физические, химические и биологические способы детектирования анализов в ТСХ. Методы количественного анализа в ТСХ. Особенности бумажной хроматографии.

Раздел 9. Принцип работы и использование масс-спектрометрических детекторов для идентификации и количественного определения веществ.

Тема 9.1. Масс-спектрометрические детекторы в хроматографии

Общие понятия и определения. Блок-схема масс-спектрометра. Понятие массы, используемой в масс-спектрометрии. Отношение массы к заряду как основной параметр идентификации веществ в масс-спектрометрии.

Устройство ГХ-МС оборудования, функции различных элементов типичной системы ГХ/МС.

Способы ионизации в вакууме: электронная, химическая, фотонная ионизация.

Способы ионизации при атмосферном давлении: электроспрей, химическая ионизация, фотоионизация, униспрей.

Методы анализа проб с прямой ионизацией: Зонд для анализа твердых частиц при атмосферном давлении (ASAP), Прямой анализ в реальном времени (DART), десорбционная электрораспылительная ионизация (DESI), матричная лазерная десорбционная ионизация (MALDI). Масс-спектрометрическая визуализация.

Масс-анализаторы: магнитный, секторный, квадрупольный, времяяпролетный. Масс-анализаторы типа «ионная ловушка». Масс-анализаторы с ионным циклотронным резонансом с преобразованием Фурье. Спектрометрия ионной подвижности.

Масс-спектр. Использование Масс-спектрометрических детекторов для качественного и количественного анализа.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Направление специальности 1-31 05 01-01 Химия (научно-производственная деятельность)

Очная (дневная) форма получения высшего образования с применением дистанционных образовательных технологий
(ДОТ)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Форма контроля
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Количество часов УСР	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	<i>Предмет и задачи современной хроматографии. История хроматографии.</i>						
1.1	Предмет и задачи современной хроматографии. История хроматографии.	1					Собеседование, устные ответы
2	<i>Аппаратура газовой хроматографии</i>						
2.1.	Устройство газового хроматографа. Газы-носители. Устройства ввода проб. Автоматизированная пробоподготовка.	1					Устные ответы
2.2.	Колонки для газовой хроматографии.	1					Устные ответы
2.3.	Детекторы в газовой	2				1	Устные ответы, доклад, тест

	хроматографии.						
3	Теоретические основы газовой хроматографии						
3.1.	Теоретическое описание процесса хроматографического разделения смесей веществ.	2		2			Устные ответы, доклад, тест
3.2.	Влияние условий проведения анализа на эффективность разделения.	2				1	Устные ответы, тест
4.	Теоретические и практические основы жидкостной хроматографии						
4.1.	Устройство жидкостного хроматографа. Основные экспериментальные методы жидкостной колоночной хроматографии.	2		2			Устные ответы, доклад, тест
4.2	Неподвижная фаза и колонки для жидкостной хроматографии.	1					Устные ответы
4.3.	Подвижная фаза в жидкостной хроматографии.	2				1	Устные ответы, тест
4.4	Характеристика хроматографических свойств разделяемых соединений.	1					Устные ответы
5.	Детекторы в жидкостной хроматографии						
5.1	Детекторы в жидкостной хроматографии	2				1	Устные ответы, тест
6.	Методы идентификации и установления количественного содержания разделяемых соединений в хроматографии						

6.1	Методы идентификации разделяемых соединений в хроматографии.	1					Собеседование, устные ответы
6.2	Методы определения количественного содержания разделяемых соединений в хроматографии.	1	4				Устные ответы, защита индивидуальной практической работы
7	Использование жидкостной хроматографии для разделения белков						
7.1	Жидкостная хроматография гидрофильного взаимодействия (HILIC). Хроматография гидрофобного взаимодействия (HIC)	1					Устные ответы
7.2	Эксклюзационная хроматография (SEC)	1					Устные ответы
8	Основы тонкослойной хроматографии						
8.1	Основы тонкослойной хроматографии	1				1	Устные ответы, тест
9	Принцип работы и использование масс-спектрометрических детекторов для идентификации и количественного определения веществ						
9.1	Масс-спектрометрические детекторы в хроматографии	2				1	Устные ответы, тест

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Направление специальности 1-31 05 01 03 Химия (фармацевтическая деятельность)

Очная (дневная) форма получения высшего образования с применением дистанционных образовательных технологий
(DOT)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов						Форма контроля
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Семинарские занятия DOT	Лабораторные занятия	Количество часов УСР	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	<i>Предмет и задачи современной хроматографии. История хроматографии.</i>							
1.1	Предмет и задачи современной хроматографии. История хроматографии.	1						Собеседование, устные ответы
2	<i>Аппаратура газовой хроматографии</i>							
2.1.	Устройство газового хроматографа. Газы-носители. Устройства ввода проб. Автоматизированная пробоподготовка.	1						Устные ответы
2.2.	Колонки для газовой	1		2				Устные ответы, реферат, тест

	хроматографии.						
2.3.	Детекторы в газовой хроматографии.	1		2			1
3	Теоретические основы газовой хроматографии						
3.1.	Теоретическое описание процесса хроматографического разделения смесей веществ.	1			2		Устные ответы, реферат, доклад, тест
3.2.	Влияние условий проведения анализа на эффективность разделения.	1			2		1
4.	Теоретические и практические основы жидкостной хроматографии						
4.1.	Устройство жидкостного хроматографа. Основные экспериментальные методы жидкостной колоночной хроматографии.	1		2			Устные ответы, доклад, реферат, тест
4.2	Неподвижная фаза и колонки для жидкостной хроматографии.	1		2			Устные ответы, реферат, тест
4.3.	Подвижная фаза в жидкостной хроматографии.	1			2		1
4.4	Характеристика хроматографических свойств разделяемых соединений.	1					Устные ответы
5.	Детекторы в жидкостной хроматографии						
5.1	Детекторы в жидкостной хроматографии	1					1
6.	Методы идентификации и установления количественного						

	содержания разделяемых соединений в хроматографии							
6.1	Методы идентификации разделяемых соединений в хроматографии.	1			2			Устные ответы, реферат, тест
6.2	Методы определения количественного содержания разделяемых соединений в хроматографии.	1	6					Устные ответы, защита индивидуальной практической работы
7	Использование жидкостной хроматографии для разделения белков							
7.1	Жидкостная хроматография гидрофильного взаимодействия (HILIC). Хроматография гидрофобного взаимодействия (HIC)	1		2				Устные ответы, реферат, доклад, тест
7.2	Эксклюзионная хроматография (SEC)	1						Устные ответы
8	Основы тонкослойной хроматографии							
8.1	Основы тонкослойной хроматографии	1		2				Устные ответы, реферат, тест
9	Принцип работы и использование масс-спектрометрических детекторов для идентификации и количественного определения веществ							
9.1	Масс-спектрометрические детекторы в хроматографии	2			2			Устные ответы, реферат, тест

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основная литература

1. Жебентяев А. И. Аналитическая химия. Хроматографические методы анализа : учебное пособие для студ. учреждений высшего образования по спец. "Фармация" и химическим специальностям / А. И. Жебентяев. - Москва : ИНФРА-М, 2025. - 205 с.
2. Жебентяев А. И. Аналитическая химия. Инструментальные методы анализа : учебное пособие для студентов учреждений высшего образования по фармацевтическим и химическим специальностям / А. И. Жебентяев, А. К. Жерносек, И. Е. Талуть. - Минск : Новое знание, 2021. - 360 с.

Дополнительная литература

1. Жебентяев, А. И. Аналитическая химия. Хроматографические методы анализа : учеб. пособие для студ. учреждений высш. образования по спец. "Фармация" и хим. спец. / А. И. Жебентяев. - Минск : Новое знание ; Москва : ИНФРА-М, 2013. - 205 с.
2. Винарский, В. А. Масс-спектрометрия и хромато-масс-спектральный анализ : пособие для студ. вузов, обуч. по спец. 1-31 05 01 "Химия (по направлениям)" / В. А. Винарский, Р. А. Юрченко ; БГУ. – Минск, БГУ, 2013. – 135 с.
3. Беккер, Ю. Хроматография. Инструментальная аналитика: методы хроматографии и капиллярного электрофореза / Ю. Беккер. - М., Техносфера, 2009. – 470 с.
4. Винарский, В.А. Хроматография : Курс лекций: В 2 ч. Ч. 1. Газовая хроматография / В.А. Винарский. - Минск : БГУ, 2002. – 192 с.
5. Винарский В.А., Юрченко Л.В. Задачи по газовой хроматографии. - Минск, БГУ. 2006. – 71 с.
6. Винарский В.А. Хроматография : курс лекций : в 2 ч. Ч. 2. Жидкостная хроматография / В. А. Винарский, Р. А. Юрченко. - Минск : БГУ, 2008. – 163 с.
7. Винарский В.А., Юрченко Р.А., Бузук А.Г. Тонкослойная хроматография в анализе наркотических и допинговых средств. Минск, «Колорград», 2016. - 203 с.
8. Гиошон, Ж., Количественная газовая хроматография для лабораторных анализов и промышленного контроля / Ж. Гиошон, К. Гийемен. - М., Мир. 1991. - 315 с.
9. Новак, Й. Количественный анализ методом газовой хроматографии / Й. Новак. - Москва : Мир, 1978. - 179 с.
10. Сычев, К. С. Практическое руководство по жидкостной хроматографии / К. С. Сычев ; под ред. А. А. Курганова. - Москва : Техносфера, 2010. - 270 с.
11. Сакодынский, К.И. Аналитическая хроматография / К.И.

Сакодынский, В.В.Бражников. - М.: Химия, 1993. - 232 с.

12. Березкин, В.Г. Аналитическая реакционная газовая хроматография / В.Г. Березкин. - М., Наука. 1966. – 172 с.
13. Березкин, В.Г. Высокоэффективная капиллярная газовая хроматография / В.Г. Березкин. - М., Знание. 1987. – 218 с.
14. Мак-Нейр, Г. Введение в газовую хроматографию / Г. Мак-Нейр, Э. Бонелли ; пер. с англ. И. А. Ревельского ; под ред. А. А. Жуховицкого. - Москва : Мир, 1970. - 277 с.
15. Руководство по газовой хроматографии. / Под ред. Э.Лейбница, Х.Г.Штруппе. - М.: Мир, 1988. – 503 с.
16. Тесаржик, Карел. Капиллярные колонки в газовой хроматографии / К. Тесаржик, К. Комарек; под ред. В. Г. Березкина. - Москва : Мир, 1987. - 222 с.
17. Харрис, Б. Газовая хроматография с программированием температуры / Б. Харрис, Г. Хэбгуд. – М.: Мир, 1968. – 312 с.
18. Заикин, В.Г. Химические методы в масс-спектрометрии органических соединений / В.Г. Заикин, А.И. Микая. – М., 1987. - 200 с.
19. Карасек, Ф. Введение в хромато-масс-спектрометрию / Ф. Карасек, Р. Клемент. - М.: Мир, 1993. -273 с.
20. Лебедев А. Т. Масс-спектрометрия для анализа объектов окружающей среды / А. Т. Лебедев. — Москва : Техносфера, 2013. — 632 с.
21. Лебедев А. Т. Масс-спектрометрия в органической химии / А. Т. Лебедев. — 2-е изд. — М.: Техносфера, 2015. — 702 с.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки

Текущий контроль качества усвоения знаний по данной учебной дисциплине может осуществляться с использованием следующих форм диагностики компетенций:

1. Устный опрос в формате вопрос – ответ
2. Защита индивидуальной практической работы
3. Тесты
4. Собеседование
5. Доклад
6. Реферат

При выставлении отметки за практическую работу учитывается: достоверность и точность полученных расчетных результатов, правильность их письменного оформления, владение теоретическим материалом, лежащим в основе данной практической работы.

Отметка за письменные тесты выставляется исходя из правильности, полноты и точности ответов, корректности расчётов и соблюдения метрологических требований к ним (для расчётных заданий).

Формой промежуточной аттестации по дисциплине «Хроматографические методы анализа» учебным планом предусмотрен зачет.

**Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы
студентов направлений специальностей 1-31 05 01 01 Химия (научно-
производственная деятельность) и 1-31 05 01 03 Химия (фармацевтическая
деятельность)**

Тема 2.3. Детекторы в газовой хроматографии (1 час).

1. Детекторы в газовой хроматографии. Назначение, основные характеристики: чувствительность, предел детектирования, линейность, селективность. Концентрационные и потоковые детекторы. Разрушающие и неразрушающие. Шум и дрейф.

2. Особенности устройства и функционирования детектора по теплопроводности. Катарометрический детектор. Основные механизмы тепловых потерь. Режимы функционирования (снятия сигнала). Схема моста Уитстона. Оптимизация работы. Термисторный детектор. Характеристики детекторов по теплопроводности. Применение.

3. Особенности устройства, функционирования и области применения пламенно-ионизационного детектора,

4. Особенности устройства, функционирования и области применения термоионного детектора,

5. Особенности устройства, функционирования и области применения детектора электронного захвата,

6. Особенности устройства, функционирования и области применения пламенно-фотометрического детектора.

Форма контроля – тест.

Тема 3.2: Влияние условий проведения анализа на эффективность разделения (1 час).

1. Влияние скорости потока газа-носителя на эффективность функционирования хроматографической насадочной колонки. Уравнение Ван-Деемтера.

2. Влияние скорости потока газа-носителя на эффективность функционирования хроматографической капиллярной колонки. Уравнение Голея.

3. Влияние количества неподвижной жидкой фазы на эффективность разделения.

4. Влияние температуры процесса разделения на параметры используемого газа-носителя.

5. Влияние температуры процесса разделения на параметры удерживания разделяемых соединений.

6. Влияние температуры процесса разделения на степень размывания хроматографических зон разделяемых соединений.

7. Разделение с программированием температуры.

Форма контроля – тест.

Тема 4.3. Подвижная фаза в жидкостной хроматографии (1 час).

1. Требования к подвижным растворителям.
 2. Элюирующая сила подвижных растворителей. Элюотропные ряды.
- Селективность подвижных растворителей.
3. Специфические модификаторы.
 4. Очистка и дегазация подвижных растворителей.
 5. Особенности работы с водными подвижными растворителями.
 6. Основы рационального выбора подвижного растворителя для оптимального разделения.
- Форма контроля – тест.

Тема 5.1: Детекторы в жидкостной хроматографии (1 час).

1. Детекторы в жидкостной хроматографии. Назначение, основные характеристики: чувствительность, предел детектирования, линейность, селективность. Концентрационные и потоковые детекторы. Разрушающие и неразрушающие. Шум и дрейф.
 2. Особенности устройства, функционирования и области применения фотометрических детекторов: с набором светофильтров на несколько длин волн, одноволновой и многоволновой детекторы, мультиволновой фото-диодно-матричный детектор.
 3. Особенности устройства, функционирования и области применения ИК-детектора.
 4. Особенности устройства, функционирования и области применения детектора по электропроводности.
 5. Особенности устройства, функционирования и области применения флуоресцентного детектора.
 6. Особенности устройства, функционирования и области применения рефрактометрического детектора.
 7. Особенности устройства, функционирования и области применения электрохимических детекторов,
 8. Особенности устройства, функционирования и области применения вискозиметрического детектора,
 9. Особенности устройства, функционирования и области применения испарительного детектора светорассеяния.
- Форма контроля – тест.

Примерный перечень дополнительных заданий для управляемой самостоятельной работы студентов направления специальности 1-31 05 01 01 Химия (научно-производственная деятельность)

- ### **Тема 8.1. Основы тонкослойной хроматографии (1 час).**
1. Неподвижные и подвижные фазы в плоскостной хроматографии.
 2. Теоретические основы разделения.
 3. Практические аспекты проведения разделения методом ТСХ.
 4. Физические, химические и биологические способы детектирования анализов в ТСХ.

5. Методы количественного анализа в ТСХ.
 6. Особенности бумажной хроматографии.
- Форма контроля – тест.

Тема 9.1. Масс-спектрометрические детекторы в хроматографии

1. Общие понятия и определения. Блок-схема масс-спектрометра. Понятие массы, используемой в масс-спектрометрии. Отношение массы к заряду как основной параметр идентификации веществ в масс-спектрометрии.
 2. Устройство ГХ-МС оборудования, функции различных элементов типичной системы ГХ/МС.
 3. Способы ионизации в вакууме: электронная, химическая, фотонная ионизация.
 4. Способы ионизации при атмосферном давлении: электроспрей, химическая ионизация, фотоионизация, униспрей.
 5. Методы анализа проб с прямой ионизацией: Зонд для анализа твердых частиц при атмосферном давлении (ASAP), Прямой анализ в реальном времени (DART), десорбционная электрораспылительная ионизация (DESI), матричная лазерная десорбционная ионизация (MALDI). Масс-спектрометрическая визуализация.
 6. Масс-анализаторы: магнитный секторный, квадрупольный, времяпролетный. Масс-анализаторы типа «ионная ловушка». Масс-анализаторы с ионным циклотронным резонансом с преобразованием Фурье. Спектрометрия ионной подвижности.
 7. Масс-спектр. Использование Масс-спектрометрических детекторов для качественного и количественного анализа
- Форма контроля – тест.

Примерная тематика практических занятий

Практическая работа № 1. Использование программного обеспечения для управления прибором, обработки хроматограмм, проведения идентификации веществ и их количественного определения, формирование отчета.

Изучение программного обеспечения для управления прибором и обработки хроматограмм Unichrom (NAS), Clarity (Data Apex), Chemstation (Agilent), OpenChrom (бесплатное ПО), MS Workstation (Varian). Основные функции, задаваемые параметры, возможности.

Подтверждение работоспособности хроматографов. Проверка и квалификация хроматографа на примере ВЭЖХ с УФ или диодно-матричным детектором.

Основные виды работ на хроматографе. Разработка методики. Построение градуировочного графика. Анализ неизвестных образцов. Обработка хроматограмм, полученных на ГХ с детектором электронного захвата и ВЭЖХ с диодно-матричным детектором. Валидация методики.

Обработка хроматограмм, полученных на ВЭЖХ с МС/МС детектором типа тройной квадруполь.

Использование масс детектора для идентификации и количественного определения веществ. ГХ-МС (одиночный квадруполь).

Библиотеки масс-спектров NIST, программа MS Search.

Примерная тематика семинарских занятий

Семинарское занятие № 1.

Колонки для газовой хроматографии.

Семинарское занятие № 2.

Детекторы в газовой хроматографии.

Семинарское занятие № 3.

Теоретическое описание процесса хроматографического разделения смесей веществ.

Семинарское занятие № 4.

Влияние условий проведения анализа на эффективность разделения.

Семинарское занятие № 5.

Устройство жидкостного хроматографа. Основные экспериментальные методы жидкостной колоночной хроматографии.

Семинарское занятие № 6.

Неподвижная фаза и колонки для жидкостной хроматографии.

Семинарское занятие № 7.

Подвижная фаза в жидкостной хроматографии.

Семинарское занятие № 8.

Методы идентификации разделяемых соединений в хроматографии.

Семинарское занятие № 9.

Жидкостная хроматография гидрофильного взаимодействия (HILIC).

Хроматография гидрофобного взаимодействия (HIC).

Семинарское занятие № 10.

Основы тонкослойной хроматографии.

Семинарское занятие № 11.

Принцип работы и использование масс-спектрометрических детекторов для идентификации и количественного определения веществ.

Темы тестов

Тест № 1.

Газовая хроматография.

Тест № 2.

Жидкостная хроматография

Тест № 3

Жидкостная хроматография гидрофильного взаимодействия (HILIC).

Хроматография гидрофобного взаимодействия (HIC).

Тест № 4.

Масс-спектрометрические детекторы.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации учебного процесса по дисциплине «Хроматографические методы анализа» используется ряд инновационных подходов и методов: **практико-ориентированный, обучающе-исследовательский, эвристический, развития критического мышления.**

При выполнении заданий на семинарских и практических занятиях осуществляется не просто приобретение знаний, а их осмысление и переработка с последующим применением при решении поставленных проблем. В ходе обучения у обучающихся происходит формирование профессиональных компетенций практической деятельности, а также понимание того, где и для чего полученные компетенции применяются на практике. В итоге обучающийся получает не только определенные знания, но и навыки профессиональной деятельности (**практико-ориентированный подход**). Одновременно применяются технологии развития **критического мышления**, связанные с пониманием научной информации и способами ее трансформации.

Учебный процесс, организованный на основе **обучающе-исследовательского принципа**, призван формировать у студентов творческий подход к решению разнообразных задач, исследовательские умения, умение работать в коллективе в процессе изучения программного материала, аналитический характер мышления.

При проведении семинарских занятий студенты обеспечиваются творческими проблемными заданиями и перечнем вопросов и упражнений. При анализе поставленных задач используется **эвристический метод**, способствующий развитию творческого мышления, формированию познавательных умений, а также обучению студентов приемам активного познавательного общения.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

При организации самостоятельной работы студентов наряду с традиционными источниками информации (учебники и учебные пособия) используются и современные информационные ресурсы. На образовательном портале educhem.bsu.by размещены лекции в виде файлов PowerPoint с пояснениями к каждому слайду, учебная программа по дисциплине, учебные пособия по дисциплине, учебные материалы для подготовки к лабораторным занятиям, задания для самостоятельной подготовки к занятиям, вопросы для подготовки к зачёту, список рекомендуемой литературы. При выполнении ряда заданий требуется также осуществлять поиск и проводить критический анализ информации из литературы и из сети Интернет. Контроль осуществляется в форме устного опроса, письменных отчетов по практическим работам, а также в форме тестов и рефератов.

Примерный перечень тем докладов на семинарских занятиях

1. Параметры удерживания разделяемых соединений и их роль в формировании хроматограммы.
2. Влияние характеристик хроматографических детекторов на достоверность идентификации разделяемых соединений.
3. Характеристика адсорбентов используемых в варианте газоадсорбционной хроматографии.
4. Характеристика неподвижных жидких фаз используемых в варианте газо-жидкостной хроматографии.
5. Устройство жидкостного хроматографа. Высокоэффективная и ультраэффективная аналитическая жидкостная хроматография. Особенности устройства и области применения препаративной жидкостной хроматографии.
6. Основные экспериментальные методы жидкостной колоночной хроматографии. Реализация и области применения.

Примерная тематика реферативных работ

1. История возникновения и развития хроматографии.
2. Классификация хроматографических методов анализа.
3. Характерные особенности разделения веществ в условиях газовой хроматографии.
4. Основные уравнения удерживания в газовой хроматографии.
5. Основные факторы размывания хроматографических зон при газохроматографических разделениях.
6. Влияние степени летучести соединений на эффективность разделения в условиях газовой хроматографии.
7. Описание процесса разделения с использованием представлений о теоретических тарелках Мартина.
8. Диффузионная теория функционирования хроматографических колонок в условиях газохроматографических разделений.
9. Влияние скорости потока газа-носителя на эффективность газохроматографических разделений.
10. Влияние температуры процесса разделения на эффективность разделений.
11. Использование масс-спектрометрических детекторов в газовой хроматографии.
12. Характерные особенности разделения веществ методами жидкостной хроматографии.
13. Основные уравнения удерживания разделяемых соединений в жидкостной хроматографии.
14. Основные факторы размывания хроматографических зон разделяемых соединений в жидкостной хроматографии.
15. Влияние скорости потока подвижного растворителя на эффективность разделений.

16. Влияние температуры процесса разделения на эффективность хроматографической колонки.
17. Основные детекторы жидкостной хроматографии.
18. Характерные особенности идентификации разделяемых соединений в жидкостной хроматографии.
19. Особенности практических вариантов разделений в жидкостной хроматографии.
20. Характеристика свойств основных адсорбентов жидкостной хроматографии.
21. Характеристика свойств подвижных растворителей и их влияние на эффективность разделения.
22. Характерные отличия варианта высокоэффективной жидкостной хроматографии от классического варианта.
23. Особенности сорбентов используемых в высокоэффективной жидкостной хроматографии.
24. Использование масс-спектрометрических детекторов в жидкостной хроматографии.
25. Хроматографическое определение микролицеств органических веществ в различных объектах.
26. Хроматографическое определение микотоксинов в продуктах питания.
27. Хроматографическое определение гормональных препаратов в продуктах питания.
28. Хроматографическое определение пищевых добавок.
29. Хроматографическое определение полициклические ароматические углеводородов в пищевых продуктах и объектах окружающей среды.
30. Хроматографическое определение полихлорированных ароматические углеводороды в продуктах питания и объектах окружающей среды.
31. Хроматографическое определение углеводов в продуктах питания.
32. Хроматографическое определение белков в продуктах питания.
33. Хроматографическое определение витаминов в продуктах питания.
34. Хроматографическое определение липидов в продуктах питания.
35. Хроматографическое определение пестицидов в сельскохозяйственной продукции и объектах окружающей среды.
36. Хроматографическое определение аминокислот и аминокислотного состава белков в кормах и продуктах питания.
37. Хроматографическое определение диоксинов в продуктах питания и объектах окружающей среды.
38. Хроматографическое определение антибиотиков в пищевых продуктах.
39. Хроматографическое определение нитрозоаминов в продуктах

питания.

40. Хроматографическое определение состава жирных кислот.
41. Хроматографическое выявление фальсификаций пищевых продуктов.
42. Хроматографическое анализ нефтепродуктов.
43. Хроматографическое выявление подконтрольных веществ (наркотики, психотропы и др.).
44. Хроматографическое выявление допинг-веществ в биологических пробах.
45. Хроматографическое выявление отравляющих веществ в биологических пробах.
46. Хроматографическое выявление взрывчатых веществ.
47. Хроматографическое выявление продуктов выстрела на смывах рук и одежде.

Конкретный класс объектов или определяемых веществ, по которым выполняется реферат, предлагается преподавателем или выбирается студентом самостоятельно по согласованию с преподавателем.

Примерный перечень вопросов к зачету

1. Газовая хроматография. Сущность метода. Преимущества и недостатки. Особенности, варианты. Принципиальная схема газового хроматографа.
2. Подвижная фаза в газовой хроматографии. Требования, характеристика основных представителей. Способы очистки.
3. Ввод газообразных анализируемых проб в газовой хроматографии. Требования к методике ввода проб, экспериментальные особенности. Анализ равновесной паровой фазы.
4. Ввод жидких анализируемых проб в газовой хроматографии. Требования к методике ввода проб, экспериментальные особенности. Устройство испарителей. Дискриминация. Микроэкстракция и сорбция. Ввод твердых проб.
5. Хроматограмма в газовой хроматографии. Основные параметры процесса разделения.
6. Основы качественного газохроматографического анализа.
7. Основы количественного газохроматографического анализа.
8. Классификация газохроматографических колонок, основные характеристики колонок и их влияние на хроматографические параметры.
9. Условия анализа и их влияние на разделение в газовой хроматографии.
10. Детекторы в газовой хроматографии. Требования, классификация, основные характеристики.
11. Детектор по теплопроводности. Особенности устройства и функционирования, характеристика аналитических параметров.
12. Детектор пламенно-ионизационный. Особенности устройства и функционирования, характеристика аналитических параметров.
13. Детектор электронного захвата. Особенности устройства и функционирования, характеристика аналитических параметров.
14. Носители неподвижных жидких фаз в газо-жидкостной хроматографии.
15. Газо-адсорбционная хроматография. Классификация адсорбентов. Взаимосвязь вида изотермы адсорбции и степени размывания зон. Особенности практического применения.
16. Основы выбора рациональной толщины пленки неподвижной жидкой фазы в газо-жидкостной хроматографии.
17. Газо-жидкостная хроматография. Характеристика неподвижных жидких фаз. Основы рационального выбора неподвижной жидкой фазы.
18. Распределительная хроматография. Особенности метода. Понятие подвижности и ее роль в процессе разделения.
19. Высокоэффективная жидкостная хроматография. Элюирующая сила растворителей. Элюотропные ряды.
20. Детекторы для жидкостной хроматографии. Характеристика аналитических параметров. Основы выбора в зависимости от природы анализа.

21. Фотометрические детекторы в ВЭЖХ. Особенности устройства, получаемая информация.
22. ВЭЖХ детекторы, используемые при анализе полимеров. Особенности устройства, получаемая информация.
23. Сорбенты для высокоэффективной жидкостной хроматографии.
24. Высокоэффективная жидкостная хроматография. Теоретические основы метода.
25. Аппаратура высокоэффективной и ультраэффективной жидкостной хроматографии.
26. Метод градиентного элюирования в жидкостно-жидкостной распределительной хроматографии.
27. Вытеснительный метод в жидкостно-жидкостной распределительной хроматографии.
28. Элюентный метод в жидкостно-жидкостной распределительной хроматографии.
29. Фронтальный метод в жидкостно-жидкостной распределительной хроматографии.
30. Условия анализа и их влияние на разделение в жидкостной хроматографии.
31. Устройство насосов и автосэмплеров для жидкостной хроматографии. Преимущества и недостатки.
32. Жидкостная хроматография гидрофильного взаимодействия (HILIC). Принцип, положенный в основу разделения веществ. Подвижная и неподвижная фазы. Влияние pH. Жидкостная хроматография гидрофильного взаимодействия с электростатическим отталкиванием (ERLIC). Принцип разделения веществ, сходство и различия с HILIC.
33. Эксклюзионная хроматография (SEC) Принцип, положенный в основу разделения веществ. Подвижная и неподвижная фазы. Использование добавок к подвижной фазе. Калибровочные кривые для гель-хроматографии. Детекторы для эксклюзионной хроматографии. Выбор колонок и условий для биоэксклюзионной хроматографии.
34. Хроматография гидрофобного взаимодействия (HIC). Принцип, положенный в основу разделения веществ. Подвижная и неподвижная фазы. Применение.
35. Тонкослойная и бумажная хроматография. Теоретические основы. Область применения. Методы визуализации разделяемых веществ. Количественный анализ.
36. Масс-спектрометрические детекторы. Способы ионизации веществ в газовой и жидкостной хроматографии.
37. Масс-спектрометрические детекторы. Масс-анализаторы.
38. Методы анализа проб с прямой ионизацией: Зонд для анализа твердых частиц при атмосферном давлении (ASAP), Прямой анализ в реальном времени (DART), десорбционная электрораспылительная ионизация (DESI), матричная лазерная десорбционная ионизация (MALDI). Масс-спектрометрическая визуализация.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Учебная дисциплина не требует согласования			

Заведующий кафедрой аналитической химии
доктор химических наук, доцент



М.Ф.Заяц

15.05.2025

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УО

на _____ / _____ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
(протокол № _____ от _____ 202_ г.)

Заведующий кафедрой

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета
